This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

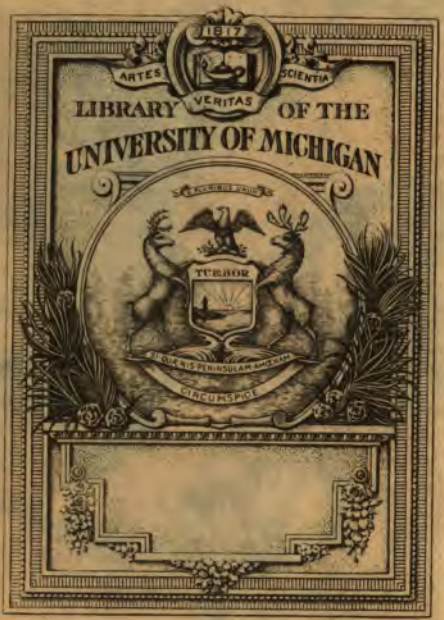
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`



RECEIVED IN EXCHANGE
FROM
Prof. L. C. Karpinski

QC
19
.N78
1771
v.3

LEÇONS DE PHYSIQUE EXPÉRIMENTALE;

Par M. l'Abbé NOLLET, de l'Académie Royale des Sciences, de la Société Royale de Londres, de l'Inſtitut de Bologne, &c. Maître de Phyſique & d'Hiſtoire Naturelle des Enfans de France, & Profeſſeur Royal de Phyſique Expérimentale au College de Navarre.

TOME TROISIEME.

SEPTIEME ÉDITION.

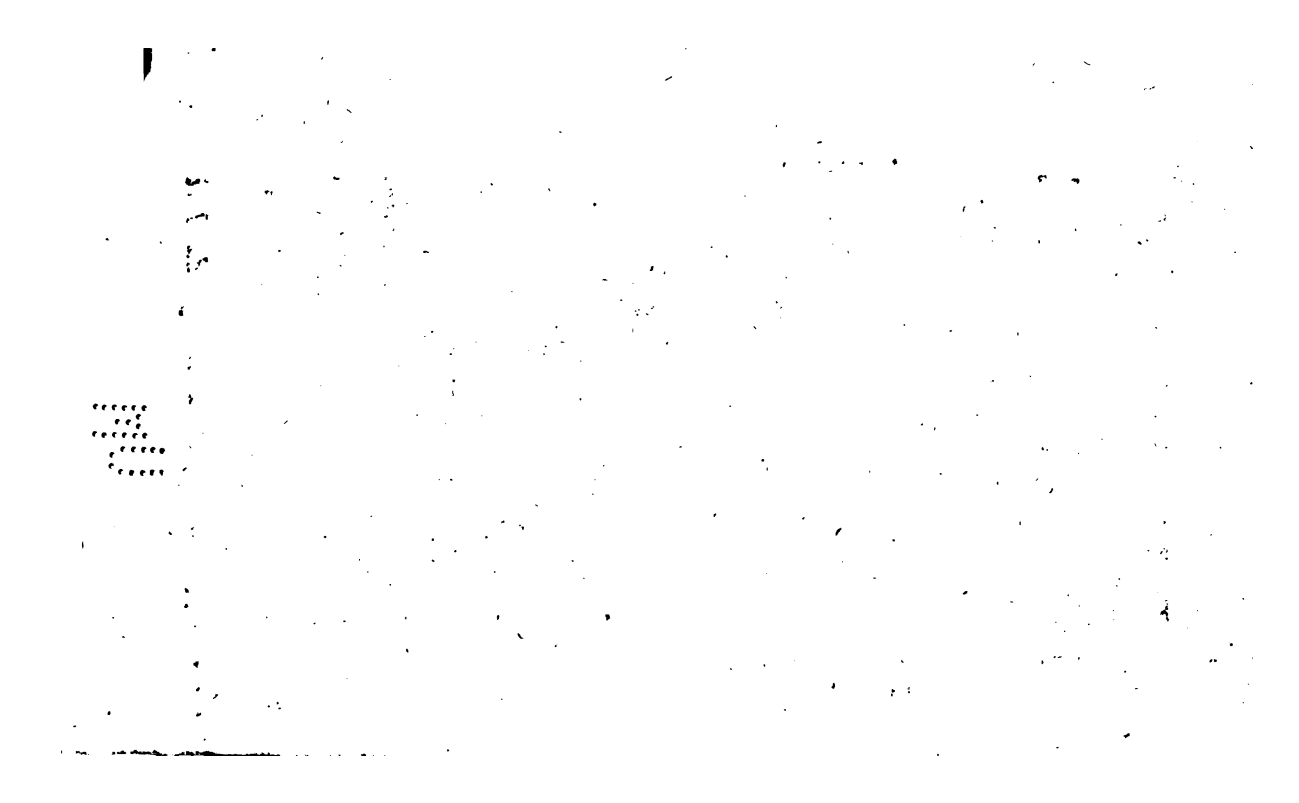
A PARIS,

Du fonds de H. L. GUERIN & L. F. DELATOUR,

Chez DURAND, Neveu, Libraire, rue Galande, à la Sageſſe.

M. DCC. LXXIX.

Avec Approbation, & Privilege du Roi



Gen Lit
Dmt & C. Karpinski
Estate
12-14-39

AVIS AU RELIEUR.

Les Planches doivent être placées de maniere qu'en s'ouvrant elles puissent sortir entiérement du livre, & se voir à droite, dans l'ordre qui suit.

TOME TROISIEME.

1-23-41 N&R J.

	Pages.	Planches.
IX. LEÇON.	24	1.
	42	2.
	68	3.
	86	4.
	98	5.
	106	6.
	124	7.
	136	8.
	170	9.
X. LEÇON.	192	1.
	216	2.
	234	3.
	254	4.
	288	5.
	336	6.
XI. LEÇON.	414	1.
	440	2.
	472	3.
	504	4.

EXTRAIT DES REGISTRES de l'Académie Royale des Sciences.

Du 6 Mars 1745.

M. DE REAUMUR & moi, qui avions été nommés pour examiner *le troiſième Volume des Leçons de Phyſique Expérimentale* de M. l'Abbé NOLLET, en ayant fait notre rapport, l'Académie a jugé cet Ouvrage digne de l'impreſſion : en foi de quoi j'ai ſigné le préſent Certificat. A Paris, ce 6 Mars 1745.

GRANDJEAN DE FOUCHY,
Secrétaire perpétuel de l'Académie Royale des Sciences.

LEÇONS

LEÇONS DE PHYSIQUE EXPÉRIMENTALE.

IX. LEÇON.

Sur la Méchanique.

IX. LEÇON.

APRÈS avoir enſeigné, dans les Léçons précédentes, les propriétés & les loix du mouvement, tant pour les corps ſolides, que pour les fluides, il nous reſte à parler dans celle-ci des moyens par leſquels on peut l'employer, ou plus commodément, ou avec plus d'avantage. Ces moyens ſont les *Machines*, c'eſt-à-dire, certains corps ou aſſemblages d'une conſtruction plus ou moins ſimple, qui

IX. LEÇON.

tranſmettent l'action d'une puiſſance ſur une réſiſtance, & qui la font croître ou diminuer en variant les vîteſſes.

La ſcience qui traite des machines s'appelle *Méchanique*; elle ſuppoſe, dans celui qui s'y applique, des connoiſſances ſuffiſantes de Mathématiques & de Phyſique : car un Méchanicien doit non-ſeulement eſtimer & meſurer des forces oppoſées entre elles, relativement à leurs poſitions reſpectives & à leurs directions; mais il faut encore qu'il ſache diſtinguer quelle eſt la nature de ces forces, ce qui peut s'y mêler d'étranger, par la qualité des matieres qu'on emploie, par la circonſtance du lieu, du temps, *&c.* Celui qui ne poſſéderoit que la partie phyſique, pourroit faire des machines durables & bien aſſorties, quant à l'aſſemblage des piéces & à leur maniere de ſe mouvoir; mais il courroit riſque de ſe tromper ſouvent dans les proportions, & les effets ſe trouveroient rarement tels qu'il les auroit attendus. Celui qui n'auroit que des connoiſſances purement mathématiques, & qui ne conſidéreroit que des lignes & des points dans les quantités dont il

voudroit faire uſage, trouveroit ſans doute beaucoup de déchet après l'exécution. Enfin celui qui ne ſeroit ni Géometre, ni Phyſicien, travailleroit abſolument en aveugle, & ne pourroit ſe flatter de réuſſir que par un pur hazard, ſouvent après bien des tentatives inutiles, pénibles & preſque toujours diſpendieuſes. C'eſt une vérité que l'expérience prouve depuis long-temps, & qui devroit corriger bien des gens dont le travail eſt infructueux; mais de même que l'amour-propre, & l'envie d'être Auteur, fait imprimer quantité de mauvais Ouvrages, malgré la critique; les mêmes motifs, & ſouvent l'appât du gain, font faire auſſi les frais d'un nombre prodigieux d'inventions qui ne verroient pas le jour, ſi ceux qui les imaginent en ſavoient aſſez pour en bien juger.

IX. LEÇON.

Les mauvaiſes machines naiſſent plus fréquemment que les bonnes; & c'eſt ce qui décrédite un peu la Méchanique dans l'eſprit de pluſieurs perſonnes qui confondent injuſtement le Machiniſte avec le vrai Méchanicien : on revient aiſément de cette

IX. LEÇON.

idée, quand on fait attention que des Savans du premier ordre, Archytas, Ariſtote, Archimedes, *&c.* parmi les Anciens; MM. Mariotte, Amontons, de la Hire, Varignon, *&c.* parmi les modernes, ſe ſont appliqués particuliérement à la ſcience des machines utiles, & ſe ſont rendus recommandables par les progrès qu'ils y ont faits. Les découvertes de ce genre ſont autant d'honneur, & ne méritent pas moins d'applaudiſſemens que celles de toute autre eſpece : l'objet de cette ſcience n'eſt-il pas très-utile en lui-même? & la ſociété n'en retire-t-elle pas des avantages conſidérables? Jugeons de ce que nous en pouvons attendre par les productions dont nous jouiſſons actuellement : les moulins qui nous préparent la farine, ceux qui foulent nos étoffes, ou qui nous tirent l'huile des végétaux, les différentes pompes qui élevent l'eau pour nos uſages & pour la décoration de nos jardins, les voitures qui nous épargnent tant de fatigues, & qui rendent les tranſports ſi faciles & ſi commodes; les poulies, les grues, les cabeſtans, dont l'appli-

IX. LEÇON.

cation eſt ſi avantageuſe & ſi fréquente dans l'architecture & dans la navigation : les pont-levis, & quantité d'autres moyens dont on ſe ſert pour défendre les places, ne ſont-ils pas autant de machines dont nous ſentons tous les jours l'utilité, & qui deviennent même néceſſaires ſelon les circonſtances ? On doit aſſurément ſavoir bon gré à ceux qui veulent bien ſe refuſer aux attraits ſéduiſans de la haute Géométrie, pour ſe donner le loiſir d'en appliquer les principes à des recherches de cette nature : elles ſont moins brillantes, que la ſolution des grands problêmes ; mais elles ne m'en paroiſſent pas moins eſtimables, parce qu'elles tendent plus directement au bien de la ſociété, & qu'elles ont, pour l'ordinaire, des applications plus promptement, & quelquefois plus généralement utiles.

On diſtingue communément deux ſortes de machines ; celles qui ſont *ſimples*, & celles qui ſont *compoſées* : les premieres ſont comme les élémens des autres, & ce ſont elles qui vont faire principalement le ſujet de

IX. LEÇON.

cette Leçon ; car la multiplication & l'assemblage des machines simples dans un même tout, n'apporte aucun changement essentiel à leurs propriétés, & nous ne devons pas entreprendre de faire une énumération complette de toutes les machines composées qui ont été mises au jour pour faire connoître toutes les applications qu'on y a faites de celles qui sont simples. Nous nous contenterons d'indiquer celles qui sont le plus en usage, dont la construction pourra s'entendre plus facilement, & qui n'auront pas besoin de ces descriptions longues & détaillées qui ne peuvent avoir place dans cet Ouvrage.

Le nombre des machines simples varie selon la maniere d'estimer leur implicité ; les uns regardant comme simple ce que d'autres considerent comme étant déjà composé ; c'est une chose assez arbitraire & peu importante : pour moi, sans désapprouver les opinions qui different de la mienne à cet égard, je ne compte que trois sortes de machines simples ; savoir le *Levier*, le *Plan incliné*, & les *Cordes*. Mais avant que d'entrer en ma-

tiere, il eſt à propos d'établir quelques notions générales qui rendront notre théorie plus facile à ſaiſir & de prévenir auſſi quelques difficultés qui pourroient naître dans le cours de nos explications. IX. LEÇON.

Dans une machine, il y a quatre choſes principales à conſidérer ; la puiſſance, la réſiſtance, le point d'appui ou centre de mouvement, & la viteſſe avec laquelle on fait mouvoir la puiſſance & la réſiſtance.

On appelle *puiſſance* une force quelconque, ou pluſieurs enſemble, qui concourent à vaincre un obſtacle, ou à ſoutenir ſon effort; ainſi les hommes ou le cheval qui remontent un bateau contre le courant de la riviere, le poids d'un tourne-broche, ceux d'une horloge ou d'une pendule, doivent être regardés comme la puiſſance ou force motrice.

Quand la puiſſance qu'on emploie dans une machine eſt l'effort d'un animal, on doit l'eſtimer relativement à la nature & à la durée du travail. Car quoiqu'un cheval puiſſe vaincre pour un temps fort court une force de 500 ou 600 livres, & qu'un homme

IX. LEÇON.

soutienne pendant quelques instans un fardeau de 100 ou 150 livres, quand il s'agit de travailler de suite, on ne doit pas compter sur un effort qui excede 25 ou 30 livres de la part d'un homme, & environ 180 livres de la part d'un cheval ; encore faut-il qu'ils agissent avec liberté, & qu'ils ne soient pas gênés, soit par la disposition de la machine à laquelle on les applique, soit par la situation du terrein, ou autrement.

Si la puissance est un poids ou un ressort, il peut arriver qu'elle ne soit pas d'une valeur constante : car, 1°. à mesure qu'un ressort se déploie, son effort diminue, & si la machine n'est point faite d'une maniere qui supplée à cette diminution, les efforts ne peuvent pas être aussi grands à la fin qu'au commencement. 2°. Nous avons fait voir, en parlant de la pesanteur, que l'accélération augmente la force des corps qui tombent librement, c'est-à-dire, avec une vîtesse très-sensible ; ainsi dans tous les cas où le mouvement est imprimé par le choc d'un corps qui tombe, la machine en reçoit d'autant plus que le

moteur deſcend de plus haut.

IX. LEÇON.

La *réſiſtance* eſt une autre force où la ſomme de pluſieurs obſtacles qui s'oppoſent au mouvement de la machine que la puiſſance anime ou fait mouvoir ; tel un bloc de pierre ou de marbre qui réſiſte par ſon poids à l'action des hommes qui font effort pour le traîner ou pour l'enlever, par le moyen d'un treuil, d'un cabeſtan, d'une grue, *&c.*

La réſiſtance n'eſt pas toujours une quantité conſtante comme un poids qu'on veut enlever ; ſouvent ce ſont des reſſorts à tendre, des corps à diviſer, des fluides à ſoutenir ; & en pareils cas, la puiſſance a plus ou moins à faire au commencement de ſon action qu'à la fin. Pour n'être point pris en défaut, on doit proportionner la machine de façon, que la réſiſtance, étant la plus grande qu'elle puiſſe être, ſe trouve encore inférieure à la force motrice. Ainſi lorſqu'il s'agit, par exemple, de faire monter l'eau par le moyen d'une pompe, on doit conſidérer le tuyau montant comme étant toujours plein, quoiqu'il ne le ſoit véritablement qu'après un

IX. LEÇON.

certain nombre de coups de piſtons, pendant leſquels la force motrice eſt plus que ſuffiſante.

On appelle *Point d'appui*, *Centre de mouvement*, ou *Hypomochlion*, cette partie d'une machine, autour de laquelle les autres ſe meuvent, c'eſt, dans une balance, l'endroit de la chaſſe ſur lequel repoſe l'axe du fléau; c'eſt dans une roue de carroſſe, l'extrémité du rayon qui touche actuellement le terrein, lorſqu'elle roule: c'eſt la penture d'une porte, l'axe d'une poulie, *&c.*

Le centre du mouvement n'eſt pas toujours un ſeul point fixe; dans bien des occaſions c'eſt une ſuite de points qui forment une ligne; tel eſt l'axe d'une ſphere, telles ſont les charnieres, & tout ce qui en fait l'office.

Le point d'appui, bien ſouvent, n'eſt fixe que relativement à la révolution dont il eſt le centre: il peut être mobile d'ailleurs; tel eſt, par exemple, l'eſſieu d'une charrette qui eſt emporté dans une direction parallele au terrein, pendant qu'il eſt le centre du mouvement des roues; quelquefois même c'eſt l'action d'un corps animé qui

fert d'appui, comme lorſque deux hommes portent enſemble quelque fardeau ſur un bâton dont ils ſoutiennent chacun un bout ; l'un des deux, indifféremment, peut être regardé ou comme puiſſance, ou comme point d'appui. IX. LEÇON.

Les vîteſſes ſe meſurent par les eſpaces que parcourent la puiſſance & la réſiſtance, ou qu'elles parcourroient, eu égard à la diſpoſition de la machine, ſi l'une emportoit l'autre. Un homme, par exemple, qui tire un fardeau par le moyen d'un cabeſtan, décrit, en marchant, la circonférence d'un cercle ; & pendant qu'il parcourt ce chemin, le fardeau s'approche d'une certaine quantité : ce ſont ces eſpaces parcourus de part & d'autre, qui déterminent les vîteſſes reſpectives ; car le temps eſt égal pour l'un & pour l'autre. De même quand les deux baſſins d'une balance ſont en repos par cauſe d'équilibre, on connoît leurs viteſſes, par le chemin qu'ils feroient en même temps, l'un en montant, l'autre en deſcend t, ſi le mouvement avoit lieu.

La peſanteur eſt une force qui s'em-

IX. LEÇON.

ploie ſouvent en méchanique comme puiſſance ou comme réſiſtance : quoiqu'elle appartienne également à toutes les parties de matiere renfermées ſous un même volume ; pour plus de ſimplicité, nous la conſidérerons comme réſidante en un ſeul point, que nous nommerons, *Centre de gravité.*

Ce centre de gravité, ou de peſanteur, n'eſt pas toujours celui de la figure ; c'eſt un point par lequel un corps étant ſuſpendu, toutes ſes autres parties demeurent en repos, & avec lequel elles ſe meuvent toutes lorſqu'il ceſſe d'être appuyé. Delà il eſt aiſé de comprendre que ce point ne ſe trouve juſtement au milieu que dans les corps dont les parties ſont homogenes, & la figure ſymmétriſée. Dans une boule bien ronde, par exemple, & d'une denſité bien uniforme, il eſt évident que tous les rayons, ou demi-diametres, ſont égaux & de même poids ; égaux, à cauſe de la figure parfaitement ſphérique ; de même poids, à cauſe de l'homogénéité des parties : tout eſt donc en équilibre autour d'un point qui eſt en même

temps centre de gravité & de figure. Il n'en eſt pas de même d'une fléche dont le bout eſt ferré, ou d'une plume à écrire ; ſi l'on partage ſa longueur en deux parties égales, l'une ſe trouvera plus peſante que l'autre, & la ſection n'aura point paſſé par le centre de ſa peſanteur, quoiqu'elle ſe ſoit faite à celui de ſa figure.

De la même maniere que l'on conçoit toute la peſanteur d'un corps réunie dans un ſeul point, on conſidere pareillement, dans un eſpace infiniment petit, celle de pluſieurs corps qui concourent à une même action par leurs poids. Quand pluſieurs maſſes peſent ſur une même corde par des fils qui les y attachent, on peut regarder le nœud commun de ces fils comme le centre des peſanteurs particulieres. *A*, *B*, *Figure* 1. étant donc les centres de gravité des deux corps ſuſpendus, leurs actions ſe réuniſſent en *C* ou dans tout autre point que l'on voudra choiſir de la ligne *C d*, pourvu que le poids *A* ſoit égal au poids *B*; car ſi l'une des deux boules étoit de bois, & l'autre de pierre, le centre de la plus peſante s'appro-

IX. LEÇON.

cheroit davantage de la ligne *c D*, & la ligne *a b* ſeroit partagée par la direction *c D* en deux parties inégales, dont la plus longue feroit à la plus courte, comme le plus grand poids au plus petit.

Quel que puiſſe être le nombre de ces corps peſants, ſi l'on connoît le centre de gravité de chacun d'eux, on détermine facilement l'endroit où ſe réuniſſent leurs forces, parce que les diſtances ſont connues; mais ceci s'entendra mieux quand nous aurons expliqué la théorie du levier.

La peſanteur a une intenſité différente lorſque les corps ſont plus ou moins éloignés du centre de la terre où ils tendent; mais dans la ſuite de cette Leçon, nous n'aurons point égard à cette différence, parce qu'elle n'eſt jamais ſenſible dans l'étendue que peut avoir une machine; ainſi nous ſuppoſerons qu'un poids dont la chûte n'eſt point accélérée, exerce toujours la même force ou la même preſſion dans toute ſa direction. Un ſeau plein d'eau qui peſe 100 livres ſur la poulie du puits lorſqu'il eſt en haut, eſt donc cenſé ne peſer pas da-

vantage lorſqu'il eſt 50 ou 60 pieds plus bas, (abſtraction faite du poids de la corde ;) & celui qui ſonne une cloche fait toujours le même effort, ſoit que la corde ait beaucoup ou peu de longueur.

IXe LEÇON.

Nous regarderons auſſi comme paralleles les directions de deux poids diſtants l'un de l'autre, quoiqu'à la rigueur elles ſoient un peu inclinées entr'elles, puiſque tous les corps graves tendent à un même point qui eſt le centre de la terre ; mais nous en ſommes trop éloignés, pour avoir à craindre aucun mécompte, en négligeant cette inclinaiſon.

Pour écarter tout ce qui eſt en quelque façon étranger à notre objet préſent, dans toute cette Leçon nous ferons abſtraction des frottements & de la réſiſtance des milieux ; obſtacles cependant dont on doit bien tenir compte dans la pratique, & qui, lorſqu'on les néglige, ou qu'on manque à les eſtimer ſelon leur valeur, cauſent des erreurs conſidérables dans les calculs que l'on fait ſur le produit des machines, comme nous l'avons fait voir dans la troiſieme Leçon, en

IX. LEÇON.

expliquant la premiere loi du mouvement.

PREMIERE SECTION.

Du Levier.

UN Levier conſidéré mathématiquement n'eſt autre choſe qu'une ligne droite ſans peſanteur qui regle les diſtances & les poſitions de la puiſſance, de la réſiſtance & du point d'appui. Si dans la pratique cette ligne devient peſante & courbe, ſon poids doit être conſidéré comme faiſant partie de la puiſſance ou de la réſiſtance, & ſa courbure peut toujours ſe réduire à la diſtance qu'elle met entre ces deux forces, eu égard à leurs directions, ou bien entre l'une des deux & le point d'appui : ainſi *E F G*, *Fig.* 2, équivaut à *e g* ; & ſi les deux parties *E F*, *F G*, ſont de fer, ou de quelque autre matiere ſenſiblement peſante, chacune fait partie de la maſſe *E*, ou *G*, qu'elle ſoutient.

On diſtingue ordinairement trois genres de Leviers par les différentes poſitions

IX. LEÇON

positions que l'on peut donner à la puiſſance, à la réſiſtance & au centre du mouvement ou point d'appui. On pourroit, en ſuivant l'exemple de quelques Auteurs célebres *, regarder comme deux autres puiſſances, ce que j'ai nommé réſiſtance & point d'appui ; & alors la diſtinction des leviers en trois genres n'auroit plus lieu : mais il m'a ſemblé qu'il y avoit quelque avantage à ſuivre la méthode la plus uſitée dans une Leçon, qui eſt moins un traité de méchanique, qu'un ſimple expoſé des principes de cette ſcience. Pour repréſenter donc ces trois ſortes de leviers, je déſignerai la puiſſance ou force motrice par une main *A*, la réſiſtance par un poids *B*; & le point d'appui par un pivot *C*. *

* *Traité de Méchaniq. d. M. de la Hir*

* *Fig.* 3, 4, 5, 6.

Les leviers du premier genre ſont ceux où le point d'appui eſt entre la puiſſance & la réſiſtance, *Fig.* 3.

Ceux du ſecond genre ont la réſiſtance entre le point d'appui & la puiſſance, *Fig.* 4.

Dans ceux du troiſieme genre, la puiſſance eſt placée entre le point d'appui & le réſiſtance, *Fig.* 5.

IX. LEÇON.

Les espèces de chaque genre se distinguent par la distance qu'il y a de la puissance au point d'appui, relativement & par comparaison à celle qui est entre ce même point & la résistance. Si, par exemple, le pivot, au lieu d'être en *C* étoit en *e*, *Fig.* 3, ce seroit toujours un levier du premier genre; mais l'espece seroit différente; ainsi pour s'exprimer exactement sur quelque levier que ce puisse être, on dira: « Il est de tel ou tel genre, » & les distances des forces résistantes » & motrices au point d'appui, sont » entr'elles dans le rapport de 2 à 3, » ou à 4, ou à 5, *&c.* »

La distance de ces deux forces au point d'appui détermine le chemin qu'elles ont à faire, & par conséquent leurs vitesses; car puisque l'une ne peut se mouvoir sans l'autre, il est évident que la puissance *A*, *Fig.* 6, n'employera pas plus de temps à parcourir l'arc *Aa*, que la résistance en consumera pour achever le sien *B b*. Quand les temps sont égaux, les vîtesses doivent se comparer par les espaces parcourus ou à parcourir, comme nous l'avons enseigné *, en par-

* *Tom. I. p.* 193 *& suiv.*

lant des propriétés du mouvement. Ainſi comme les arcs Aa, & Bb, ſuivent entre eux le rapport de leurs rayons AC, BC, il eſt certain qu'en connoiſſant ces deux dernieres diſtances, on ſait la vîteſſe de la puiſſance & celle de la réſiſtance. D'où il ſuit : IX. LEÇON

1°. Qu'un poids agiſſant comme puiſſance ou comme réſiſtance, par un levier placé horizontalement, a d'autant plus de force qu'il eſt plus éloigné du point d'appui.

2° Que deux maſſes égales oppoſées l'une à l'autre ſur un ſemblable levier, ne peuvent être en équilibre, que quand elles ſont à égales diſtances du point d'appui, & que l'une tend à enlever l'autre.

3°. Que deux poids inégaux y exercent l'un contre l'autre des forces égales quand leurs diſtances au point d'appui ſont réciproquement comme les maſſes.

Ces trois propoſitions deviendront ſenſibles par des expériences.

IX. LEÇON.

I. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

La *Figure* 7. repréſente une planche élevée verticalement ſur une baſe & percée à jour par une rainure *H I*; la piece *K* eſt une eſpece de chaſſe qui peut ſe placer à différents endroits de la rainure par le moyen d'une queue à vis qui traverſe celle-ci, & qui s'arrête par derriere avec un écrou. *L M*, eſt une petite boîte de métal qui ſe meut ſur deux pivots dans la chaſſe, & dans laquelle on fait gliſſer le levier *N O*, pour l'arrêter à tel endroit qu'on ſouhaite de ſa longueur: par ce moyen le point fixe change de place, non-ſeulement ſur la planche, mais même ſur le levier; les extrémités de ce levier ſont percées pour recevoir des poids qui portent chacun une petite boucle en-deſſous pour en recevoir d'autres. *P* eſt une maſſe qui eſt enfilée par le levier, & que l'on y arrête à tel endroit qu'il convient, pour le mettre en équilibre avec lui-même, dans les cas où le point d'appui n'eſt pas placé au milieu de ſa longueur. *Q*.

eſt une poulie très-mobile ſur ſon axe, dont la mouffle ſe place en fourchette, & à telle diſtance que l'on veut ſur le haut de la planche ; cette poulie eſt embraſſée par un cordon qui porte d'un côté un poids, & de l'autre un crochet pour ſoutenir le levier, dans les cas où le point fixe ſe trouve placé à l'une des deux extrémités.

Avec cette machine ainſi préparée, on peut mettre en expérience les leviers de tous les genres & de toutes les eſpeces, varier la puiſſance & la réſiſtance, non-ſeulement quant à leurs diſtances au point d'appui, mais encore quant à leurs maſſes, ou quantités abſolues, & par le moyen du contrepoids P, le levier peut toujours reſſembler à une ligne mathématique, inflexible & ſans poids.

Ces moyens étant donc ſuppoſés, nous nous abſtiendrons de les faire reparoître dans nos figures, & nous repréſenterons chaque expérience par des lignes, afin d'écarter de nos explications ce qui eſt étranger, & de n'occuper l'attention du Lecteur que de l'objet dont il ſera queſtion.

IX. LEÇON.

Ayant donc disposé le levier de maniere que son point fixe se trouve entre deux poids, comme il est représenté par la *Fig.* 8, on remarque ce qui suit.

EFFETS.

1°. Si le point fixe est en *a*, c'est-à-dire, qu'il partage le levier en deux bras égaux, une puissance d'une livre soutient une résistance de même poids.

2°. Si le point fixe est en *b*, le bras de la puissance est deux fois aussi long que celui de la résistance ; une livre en *P* soutient deux livres en *R*.

3°. Si le point fixe est en *c*, il y a trois fois aussi loin de *c* en *p*, que de *c* en *r* ; la même livre employée en *P* en soutient trois placées en *R*.

II. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

Il faut disposer la machine que nous avons décrite *, de maniere que le point fixe se trouve à l'une des deux extrémités du levier, & que l'anneau dans lequel passe le levier

* *Fig.* 7.

ſoenu par la puiſſance *P*, puiſſe ſe plier d'abord au point 2, & enſuite au point 1. Voyez la *Fig.* 9.

EFFETS.

Dans le premier cas, *R* peſant une livre, fait équilibre à *P*, dont le poids e 1 livre $\frac{1}{2}$.

Dans le ſecond cas, pour avoir équilibre, il faut mettre les deux poids dans le rapport de 3 à 1, c'eſt-à-dire, que la maſſe *P* qui n'eſt éloignée du point d'appui que d'un eſpace, doit peſer 3 livres, pendant que l'autre *R* qui eſt à la troiſieme diſtance, n'en peſe qu'une.

Ce levier qui eſt du troiſieme genre, repréſente auſſi celui du ſecond, ſi l'on conſidere comme réſiſtance, ce que nous avons régardé comme puiſſance.

EXPLICATION.

Les principes que j'ai établis d'abord, laiſſent peu de choſes à dire pour expliquer les faits qui ſont rapportés dans ces deux premieres expériences. L'action ou la force d'un corps ſe meſure par la quantité de

IX. LEÇON.

mouvement qu'il a ou qu'il auroit, s'il n'étoit pas retenu ; or la quantité du mouvement réſulte de la maſſe multipliée par la vîteſſe. Sur un même levier la puiſſance & la réſiſtance ne peuvent ſe mouvoir qu'en même temps ; leurs vîteſſes, c'eſt-à-dire, celles qu'elles ont, ou qu'elles auroient, ſi le mouvement avoit lieu, ne peuvent donc différer que par les eſpaces. Sil y a équilibre entre 1 livre & 1 livre, ſur un levier horizontal partagé en deux bras égaux par le point d'appui, comme on l'a vu dans le premier réſultat de la premiere expérience, c'eſt que ce levier ne peut ſe mouvoir, ſans que les deux poids parcourent des arcs égaux en même-temps, ou (ce qui eſt la même choſe) ſans qu'ils ayent la même vîteſſe ; égalité de vîteſſes, & égalité de maſſes de part & d'autre, produiſent des efforts égaux, qui ſe détruiſent réproquement, parce qu'ils ſe font en ſens contraires, ce que l'on appelle *équilibre*.

Dans le ſecond réſultat on voit une livre qui en ſoutient deux, parce qu'elle eſt tellement placée qu'elle auroit

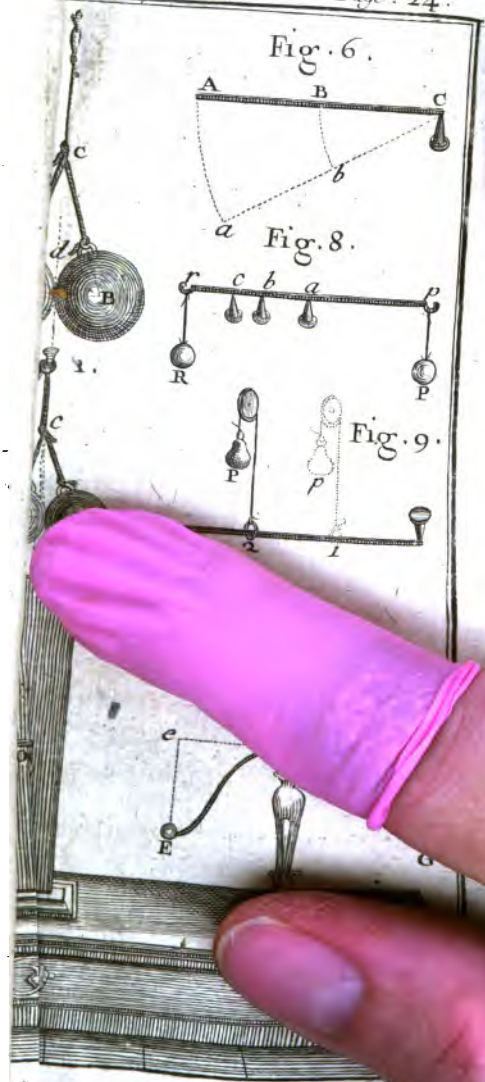


Fig. 6.
A
B
C
b
a
Fig. 8.
r
c
b
a
p
R
P
Fig. 9.
P
p
C
d
B
1.
e
E
G

auroit deux fois plus de vîteſſe que le poids oppoſé ; 1 de maſſe multiplié par 2 de vîteſſe, équivaut à 1 de vîteſſe, multiplié par 2 de maſſe. Il eſt facile d'appliquer ce calcul aux autres effets.

COROLLAIRE.

Puiſqu'une puiſſance appliquée à un levier croît toujours à meſure qu'elle s'éloigne du point d'appui, comme on l'a pû voir par les expériences précédentes ; on doit en tirer cette conſéquence, qu'une très petite force, par le moyen d'un levier aſſez long, peut faire équilibre, ou vaincre une autre force infiniment plus grande. Archimedes avoit donc raiſon de dire qu'il enleveroit la terre entiere, s'il avoit un point fixe qui en fût ſéparé : car en établiſſant ſur cet appui un levier dont le bras du côté de la puiſſance, ſurpaſſât en longueur celui auquel il auroit attaché le globe terreſtre, autant ou plus que le poids de ce globe ne l'emporte ſur la force d'un homme, il eſt évident par les principes établis ci-deſſus, qu'il eût acquitté ſa promeſ-

IX. LEÇON.

se, par une démonstration, sans doute; car il est inutile de dire, que le levier dont il faudroit faire usage dans une telle opération, ne peut jamais passer que pour un être de raison, comme le point fixe qu'il demandoit.

APPLICATIONS.

Les leviers sont d'un usage si commun non-seulement dans les Arts, mais même dans la vie civile & dans le méchanisme de la nature, qu'on les rencontre presque par-tout, pour peu qu'on y fasse attention. Nous nous bornerons à quelques exemples, pour ne point entrer dans un détail trop long & superflu.

Les Charpentiers, les Maçons & autres Ouvriers qui ont à remuer de grandes pierres, ou de grosses pieces de bois, se servent très-souvent d'une barre de fer arrondie dans presque toute sa longueur, un peu coudée, & applatie par un bout. Cet instrument qu'ils appellent communément *pied de chevre*, s'employe principalement de deux manières. Quelquefois après avoir engagé l'extrémité applatie, qu'on nomme *la pince*,

entre la piece qu'on veut mouvoir, & le terrein ſur lequel elle repoſe, on fait porter le coude *A*, *Fig.* 10, ſur quelque corps dur, & alors en appuyant ſur l'autre bout de la barre *B*, on ſouleve le fardeau, d'une petite quantité à la vérité, mais aſſez pour donner liberté de gliſſer deſſous une corde, un rouleau, *&c.* ce qui ſuffit le plus ſouvent. D'autres fois auſſi on avance un peu plus la pince ſous la piece qu'on veut remuer, & en ſoulevant la barre, on fait effort contre la partie *C* qui repoſe deſſus. *Fig.* 11.

IX. LEÇON

Le pied de chevre, comme l'on voit, n'eſt autre choſe qu'un levier, qui eſt du premier genre dans l'uſage que nous avons cité d'abord ; car le point *A*, qui eſt l'appui, ſe trouve placé entre la puiſſance & la réſiſtance. Dans l'autre uſage, il eſt du ſecond genre, puiſque la réſiſtance ſe fait au point *C*, entre la puiſſance & le bout de la pince qui eſt appuyé par terre.

Comme cet inſtrument s'emploie, pour l'ordinaire, à ſoulever de grands fardeaux, l'endroit du coude qui ſert

IX. LEÇON.

de point d'appui, ou qui reçoit l'effort de la réſiſtance, eſt toujours fort loin du bout que l'on tient à la main; ainſi la puiſſance, toujours beaucoup plus éloignée du point d'appui, que la réſiſtance, a ſur elle un avantage conſidérable par cette poſition.

Les rames des Bateliers ſont des leviers du ſecond genre, dont on appuie un bout contre l'eau, pendant que la puiſſance appliquée à l'autre bout porte ſon effort à l'endroit du bateau où la rame eſt attachée : cet endroit partage la longueur de la rame en deux parties, dont l'une frappe l'eau, pendant que l'autre eſt miſe en mouvement par les bras du Batelier : il ſeroit ſans doute avantageux que l'une & l'autre fuſſent fort longues ; la premiere, parce qu'elle répondroit à un plus grand volume d'eau, & que le point d'appui en deviendroit plus fixe ; la ſeconde, parce qu'elle mettroit une plus grande diſtance entre la puiſſance & le point d'appui : mais il y a auſſi des raiſons qui obligent de borner cette longueur de part & d'autre, ſelon les circonſtances.

IX. LEÇON.

On ne peut alonger les rames du côté de la puiſſance ſans exiger d'elle un plus grand mouvement; celui d'un homme eſt borné à une certaine étendue, au-delà de laquelle il travaille avec trop de fatigue : on en peut juger par la manœuvre des forçats lorſqu'ils ſont quatre ou cinq appliqués à la même rame ; ceux qui ſont au bout, quoique les plus robuſtes, peuvent à peine réſiſter quelques années à ce violent exercice. Dans les petits bateaux où un ſeul homme fait agir deux rames, cette même longueur eſt encore bornée par le peu de diſtance qu'il y a d'un bord à l'autre ; car le Batelier qui eſt aſſis au milieu de cet eſpace, eſt la puiſſance commune à l'une & l'autre rame.

Les rames qui ſont fort alongées du côté de l'eau, exigent une navigation fort libre ; on ne peut gueres en faire uſage dans les petites rivieres, dans celles qui ont beaucoup de ſinuoſités, qui ſont remplies d'iſles & de rochers, ou même dans les ports qui ſont très-fréquentés, à cauſe des embarras qui s'y trouvent : c'eſt par ces raiſons ſans doute que les ra-

IX. LEÇON.

mes varient & de formes & de dimenſions, ſuivant les circonſtances des lieux, & les différentes manieres de les employer.

Le couteau du Boulanger eſt encore un levier du ſecond genre, lorſqu'arrêté par un bout ſur une table, & tournant autour d'un point fixe, il eſt porté par la main qui tient le manche, contre un pain qu'il entame.

La baſcule eſt un levier du premier genre, qu'on reconnoît d'abord, lorſqu'on ſe repréſente une longue piece de bois, appuyée par ſon milieu, & chargée à ſes extrémités de deux perſonnes, dont l'une eſt enlevée par l'autre, lorſqu'en touchant le terrein, du pied ou autrement, elle ſoulage d'une partie de ſon poids le bras du levier où elle eſt.

Les ciſeaux, les pinces, les pincettes, les tenailles, ne ſont encore que des leviers aſſemblés par paires; l'effort de la main ou des doigts qui menent les deux branches, doit être conſidéré comme la puiſſance; le clou, ou ce qui en tient lieu, eſt un point fixe commun aux deux: & ce que l'on coupe, ou ce que l'on ſerre, devient la réſiſtance.

Ceux de ces instrumens qui sont destinés à faire de grands efforts, comme les cisailles des Chaudronniers, ou des Ferblantiers, qui coupent des métaux, ont les branches fort longues par comparaison aux parties tranchantes qu'on nomme les *Couteaux* : de cette maniere la puissance agissant par un bras de levier très-long, est capable de vaincre une résistance fort grande. Par la raison du contraire, dans les pincettes qu'on nomme *Badines*, & qui n'ont d'autre effort à faire, que de transporter quelques charbons, cette légere résistance se fait aux extrémités de deux longues branches, qui sont des leviers du troisieme genre ; l'endroit où ils se joignent par une charnière ou par un ressort foible, doit être regardé comme le point d'appui ; & la main qui les fait agir, est la puissance.

Les ciseaux dont on se sert pour découper ont les branches fort longues, & les lames très-courtes ; ce n'est pourtant pas qu'on ait besoin d'une grande force pour couper du papier mince : mais comme dans la découpure on a souvent de petites

IX. LEÇON.

parties à réſerver, il faut que l'on puiſſe arrêter à propos les ciſeaux ; & cela ſe peut faire facilement, quand le mouvement des doigts qui meut les branches, a beaucoup plus d'étendue que celui des lames.

Enfin les bras, les doigts, les jambes des animaux ſont encore des leviers ou des aſſemblages de leviers, par leſquels la force des muſcles eſt employée de la maniere la plus convenable & la plus avantageuſe, ſoit pour tranſporter le corps, ſoit pour approcher de lui tout ce qui lui eſt néceſſaire ou utile, ſoit pour en écarter tout ce qui lui ſeroit nuiſible: Un Auteur célebre * a fait connoître en détail, & dans un ouvrage exprès, ce qu'il y a de plus remarquable dans cet admirable méchaniſme : ceux qui ont du goût pour l'anatomie y trouveront de quoi le ſatisfaire.

* *Borelli, de motu animalium.*

DANS les deux premieres expériences, le levier étant ſoutenu horizontalement, nous avons employé pour puiſſance & pour réſiſtance des corps peſants dont les efforts ſe faiſoient dans des directions verticales, c'eſt-à-dire, qu'elles faiſoient des angles droits

avec la longueur du levier au moment que ces forces commençoient à agir. Mais il peut arriver, & il arrive très-souvent, soit par la situation du levier, soit par la nature des puissances qu'on employe, que leurs efforts se font obliquement; & comme en général toute force qui agit obliquement, a moins d'effet que celle dont l'action est directe, il est important de connoître ce qu'on doit attendre de cette obliquité dans l'usage des leviers.

Lorsque les directions de la puissance & de la résistance sont obliques à la longueur du levier, il peut arriver qu'elles le soient toutes deux également; il peut se faire aussi que ces directions reçoivent différents degrés d'obliquité, & que l'une ou l'autre soit plus ou moins inclinée au levier; dans ces différents cas, voici ce qu'il y a de plus important à savoir.

1°. L'effort d'une puissance est le plus grand qu'il puisse être, lorsque sa direction est perpendiculaire au bras du levier, par l'extrémité duquel elle agit. Ainsi le poids *B*, *Fig.* 12 ne suffiroit plus pour soutenir ce-

IX. LEÇON.

lui qui est en *A*, si, au lieu de peser dans la direction *b B*, il faisoit son effort obliquement, comme *b D*, ou *b E*.

1°. Deux forces qui agissent l'une contre l'autre, par les deux bras d'un même levier, gardent entr'elles le même rapport, si leurs directions, de perpendiculaires qu'elles sont, deviennent également obliques au levier. C'est-à-dire, que si les poids *P*, *R*, *Fig.* 13. sont en équilibre, cet état subsistera entr'eux; si leurs directions, s'inclinant au levier, demeurent paralleles l'une à l'autre comme *a p*, *b r*.

3°. Si ces directions reçoivent différents degrés d'obliquité, de sorte que l'une des deux fasse avec le bras du levier, un angle plus ou moins grand que l'autre; celle des deux qui s'écartera davantage de l'angle droit, toutes choses égales d'ailleurs, rendra la puissance plus foible. Une force qui ne seroit donc que suffisante pour soutenir la masse *Q*, en agissant selon la direction *P p*, *Fig.* 14. ne le seroit plus si elle sortoit de cette ligne; & elle le seroit d'autant moins, qu'elle

s'éloigneroit davantage en se plaçant aux points *c*, *d*, *e*, *f*. Trois expériences rendront ces propositions évidentes. IX. LEÇON.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Figure* 15. représente une planche bien unie, & élevée verticalement sur une base ; en *F*, on a fixé une châsse assez semblable à celle d'une balance, pour servir de soutien à un levier *GH*, qui s'y meut librement sur deux pivots ; *IK*, est une regle qui glisse dans une coulisse, & qui porte en son extrémité une poulie qui est très-mobile. On fait passer sur cette poulie un cordon fort menu qui tient d'une part à l'extrémité *H* du levier, & qui est garni par l'autre bout d'un petit crochet qui sert à suspendre un poids. Par le moyen de la poulie & de la regle mobile sur laquelle elle est fixée, on peut varier comme l'on veut la direction du cordon, & par conséquent celle de la puissance qu'on y attache.

On met d'abord en équilibre deux

IX. LEÇON.

poids dans des directions perpendiculaires aux bras du levier ; & enſuite en faiſant paſſer le cordon ſur la poulie, on rend oblique la direction de l'un des deux poids comme *a P*, ou *a D*, *Fig.* 16.

EFFETS.

Lorſque la direction du cordon n'eſt plus perpendiculaire au levier, l'effort de la puiſſance *P*, ne ſuffit plus pour ſoutenir le poids de l'autre part, & l'équilibre ne ſe rétablit point juſqu'à ce que le cordon revienne dans la direction *a C*.

EXPLICATIONS.

Le poids étant en *C*, fait équilibre à la réſiſtance *E*, parce qu'il agit directement contre elle ; car ſa direction *a C*, étant parallele à *b E*, c'eſt comme ſi ces deux forces étoient toutes deux oppoſées dans la même ligne. Ce levier du premier genre dont les bras ſont égaux, ne fait rien autre choſe que de mettre les deux forces en oppoſition : ſi l'une des deux *E*, tendoit naturellement de bas en-haut, on pourroit la placer en *a*, & l'é-

quilibre ſubſiſteroit de même entr'elles, pourvu que leurs directions reſtaſſent directement contraires. Cette oppoſition directe eſt donc une condition abſolument néceſſaire : par conſéquent, lorſque l'une des deux forces a ſa direction perpendiculaire à l'un des bras du levier, toutes choſes égales d'ailleurs, il faut que l'autre, pour lui être égale, faſſe auſſi un angle droit avec l'autre bras ; & ſi elle s'écarte de cette direction d'un côté ou de l'autre, ſon effort doit être moins grand. Suppoſons, par exemple, que la puiſſance agiſſe ſelon la ligne *a d*; il eſt évident que la réſiſtance *E*, ne ſeroit nullement ſoutenue : elle le ſera donc d'autant moins, que la direction de la puiſſance ſera plus inclinée au bras du levier par lequel elle agit, ou qu'elle s'écartera davantage de la ligne *a C*, perpendiculaire à ce même levier.

IV. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

Il faut mettre le levier *G H*, de la machine repréſentée par la *Fig.* 15.

IX. LEÇON.

dans une position oblique comme $h i$, & suspendre aux extrémités deux poids égaux.

EFFETS.

La direction de la puissance & de la résistance, étant celle qui est naturelle à tous les corps graves, c'est la même de part & d'autre ; elle forme avec le levier incliné, des angles semblables, $l i F$, $h F k$; cette égalité d'angles subsiste, quelque degré d'inclinaison qu'on fasse prendre au levier, & les deux poids conservent toujours leur équilibre.

EXPLICATIONS.

Lorsque le levier étoit horizontal comme $G H$*, la distance perpendiculaire à la direction des puissances, étoit la même que la longueur des bras $E G$, $F H$, qui étoit égale de part & d'autre ; le levier s'étant incliné comme $h i$, cette distance à la direction perpendiculaire de chaque poids, a diminué des quantités $l H$, $k G$; mais ces quantités sont égales entr'elles, par conséquent les restants $l F$, $k F$, conservent entr'eux le mê-

* *Fig.* 15.

me rapport qu'auparavant ; c'eſt pourquoi l'inclinaiſon du levier n'a rien changé à l'équilibre des deux poids. IX. LEÇON.

V. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Par le moyen de la machine * qui a ſervi dans les deux expériences précédentes, on met en équilibre deux poids égaux aux bras d'un levier horizontal ; enſuite on fait paſſer le cordon qui ſuſpend l'un des deux poids ſur la poulie *K*, que l'on fait avancer plus ou moins, pour donner à ce poids ſucceſſivement les di[redacted]s, *a d*, *a f*, *Fig.* 17. * *Fig* 15.

EFFETS.

Plus la direction de la puiſſance devient inclinée au levier, plus il faut ajouter à ſa maſſe pour la maintenir en équilibre avec celle de l'autre part : c'eſt-à-dire, que ſi elle étoit d'une livre lorſqu'elle étoit dans une direction perpendiculaire au levier, il en faut une & demie quand la direction eſt *a d*, & trois quand elle eſt *a f*.

EXPLICATIONS.

IX. LEÇON.

Puiſque l'effort de la puiſſance eſt le plus grand qu'il puiſſe être, lorſqu'elle agit ſelon la direction *a P*, perpendiculaire au levier, comme nous l'avons prouvé par la troiſieme expérience ; c'eſt une conſéquence néceſſaire qu'elle ait moins de force, lorſqu'on l'emploie dans toute autre direction : & comme elle n'avoit qu'une force égale à la réſiſtance, étant dans la poſition la plus avantageuſe ; elle doit être inſuffiſante, lorſqu'elle reçoit les directions obliques *a d*, *a f*, c'eſt pourquoi l'on ne peut alors entretenir l'équilibre qu'en compenſant par une augmentation de maſſe dans la puiſſance, ce qu'elle perd par l'obliquité de ſa direction.

Pour juger de cette diminution qu'il faut compenſer, ou pour connoître de combien la puiſſance s'affoiblit par les différents degrés d'obliquité qu'on fait prendre à ſa direction, prolongeons ces directions par des lignes indéfinies *a i*, *a k*. Imaginons enſuite que le bras du levier *a c*, tourne ſur ſon point d'appui, & qu'il décrit

décrit une portion de cercle, *a g h i k* : il y aura un point dans sa longueur *m* ou *n*, sur lequel la direction prolongée tombera perpendiculairement ; c'eſt donc ſur ce point que la puiſſance exerce toute ſa force ; mais ce point, comme l'on voit, n'eſt plus à l'extrémité du bras du levier ; ſa diſtance au point d'appui eſt beaucoup moindre ; en un mot, quand la direction de la puiſſance eſt oblique comme *a d*, c'eſt comme ſi elle étoit perpendiculaire au point *b* ; & lorſqu'elle agit par la ligne *a f*, elle n'a que la force qu'elle auroit, ſi elle étoit ſuſpendue au point *e* : or ces deux points *e*, *b* partagent ce bras du levier en trois parties égales, & puiſque l'autre bras eſt de même longueur, il a trois parties ſemblables à celles-ci. La maſſe *R*, étant d'une livre multipliée par trois de diſtance au point d'appui, donne 3, qui eſt la valeur de la réſiſtance ; ſi nous ſuſpendons une autre maſſe en *b*, pour ſervir de puiſſance, il faut qu'elle ſoit d'une livre & demie, qui multipliée par deux de diſtance, égalera le produit de l'autre part : & ſi nous la pla-

IX. LEÇON.

IX. LEÇON.

çons en e, la distance au point d'appui n'étant plus que 1, il faut nécessairement 3 de masse pour faire équilibre.

Ces masses 1 livre $\frac{1}{2}$ & 3 livres sont, comme l'on voit, en raison réciproque des distances $b\,c$, $e\,c$, que l'on met entr'elles & le point d'appui; elles ont aussi le même rapport avec les lignes $c\,m$, $c\,n$, qui sont doubles l'une de l'autre; & comme celles-ci, sont les sinus des angles $a\,c\,m$, $a\,c\,n$, on peut comprendre d'une maniere plus générale tout ce que nous venons d'expliquer, par cette proposition: *les différents efforts d'une puissance appliquée à l'extrémité d'un bras de levier selon différentes directions, sont entr'eux comme les sinus des angles que font ces directions avec le levier.*

Il suit aussi de cette proposition, que l'effort de la puissance est le plus grand qu'il puisse être quand la direction est perpendiculaire au levier, comme nous l'avons déja prouvé *: car alors, elle fait un angle droit $P\,a\,c$, dont le sinus est $a\,c$; c'est-à-dire, le rayon même ou le bras entier du levier.

* III. Exp. Pag 35.

Fig. 13.

Fig. 14.

Fig. 17.

Fig. 19.

APPLICATIONS.

IX. LEÇON

Il y a quantité de machines & d'instruments, qu'on fait mouvoir par le moyen d'un bras de levier, qu'on nomme *manivelle.*

Quelque figure qu'on lui donne, soit qu'on la courbe comme celle du gagne-petit, *Fig.* 18, & la plupart de celles des rouets qu'on fait tourner avec le pied, soit qu'on la façonne en *S*, *Fig.* 19, comme le font ordinairement celles des vielles; elle se réduit toujours à un bras de levier droit, dont la longueur est déterminée par la distance qu'il y a entre le manche *B* & l'œil *A*, qui reçoit le bout de l'arbre tournant.

Dans le cas où la résistance n'est pas bien considérable, il importe peu quel angle fasse la direction de la puissance avec la ligne *A B*; mais lorsqu'il faut mener de grandes manivelles, avec beaucoup de force, on s'apperçoit bientôt que l'effort avec lequel on agit, n'a pas un avantage égal dans tous les points de la révolution. Cette inégalité vient des différentes manieres dont la puissance

IX. LEÇON.

se trouve dirigée au bras du levier pendant qu'il tourne : c'est ce que l'on concevra facilement, si l'on imagine que la manivelle *C H*, *Fig* 20. reçoit son mouvement circulaire d'une regle *D G*, qui lui est jointe, & qui la pousse & la tire alternativement. Car selon ce que nous avons prouvé par la troisieme expérience, cette regle agit avec tout l'avantage qu'elle peut avoir, lorsqu'elle fait avec la manivelle un angle droit comme *C H D*, ou *C i k*, soit en poussant, soit en tirant. Mais lorsque la manivelle est aux points *b*, ou *e*, on voit que la direction de la puissance, représentée par la regle, fait avec elle des angles de plus en plus aigus, & que cette obliquité diminue beaucoup de l'effort.

Ce que nous disons de la regle *D H*, il le faudroit dire du bras d'un homme, appliqué à une manivelle, s'il ne faisoit que tirer & pousser dans la même direction : mais il fait plus ; lorsque son effort s'affoiblit par une direction désavantageuse en poussant, il avance son corps, de sorte qu'une partie de son poids se porte

dans la direction *b f*, ou *e g*; lorſqu'il tire, il ſe baiſſe & ſe renverſe un peu, & par ces différents moyens, il redreſſe, pour ainſi dire, la direction de la puiſſance, & l'angle qu'elle fait avec la manivelle demeure plus ouvert qu'il ne le ſeroit, dans ces mouvements du corps, qui ſe font ſans attention, & par des ouvriers les plus groſſiers, qui n'ont pris ſur cela que les leçons de la Nature & de l'habitude.

IX. LEÇON.

Mais ces ſortes de mouvemens ne ſe font pas ſans fatigue; il eſt toujours vrai de dire, que celui qui tourne la manivelle, n'eſt en pleine force que dans certaines parties de la révolution : c'eſt peut être pour cette raiſon que dans les machines qui ſe meuvent avec deux manivelles, on eſt dans l'uſage d'oppoſer la longueur de l'une à celle de l'autre, comme *E F* & *G H*, *Fig.* 21. afin que des deux hommes qui les menent, l'un ſe trouve dans une poſition favorable, pendant que l'autre travaille avec déſavantage : mais cette diſpoſition ne me paroît pas la meilleure qu'elle puiſſe être : j'aimerois mieux que les deux manivelles fiſſent en-

IX. LEÇON.

semble un angle droit, que d'être opposées directement. Car si l'on partage la révolution entiere en quatre parts, on peut voir par la *Figure* 20. qu'un homme qui éleve la manivelle d'*I* en *m* par l'action des muscles, ou qui l'abaisse de *b* en *n* par l'effort de son poids, a beaucoup plus de force que quand il la porte en avant d'*m* en *b*, ou qu'il la tire à lui d'*n* en *l* : mais ces deux dernieres parties comme les premieres, sont directement opposées entr'elles; quand on oppose de même les deux manivelles, ceux qui les font agir, se trouvent donc en même temps en pleine force, & en même temps aussi dans les positions les moins favorables: la même chose n'arriveroit pas, si les manivelles faisoient entr'elles un angle droit; l'un des deux parcourroit l'arc *l m*, pendant que l'autre passeroit par l'espace *m b*.

Pour changer la direction du mouvement, il arrive souvent, qu'au lieu d'employer un levier droit, on dispose les deux bras de maniere qu'ils font un angle au point d'appui, comme *I K L*, *Fig.* 22. Ces leviers angulai-

res, qu'on nomme auſſi *manivelles coudées*, ſont fort en uſage pour les pompes, pour les mouvements des ſonnettes qu'on place dans les appartemens, pour la ſonnerie des horloges & des pendules, & dans une infinité d'autres occaſions où l'action du moteur ne peut ſe tranſmettre que par des voies indirectes. Ils ont les mêmes propriétés qu'un levier droit; car lorſqu'en tournant, ces deux bras diſpoſés en équerre ſe trouvent obliques aux directions *m l*, *i n*, de la puiſſance & de la réſiſtance, cette obliquité eſt égale de part & d'autre; *o K l*, *i K h*, ſont ſemblables; en un mot, les diſtances du point d'appui *K*, aux directions perpendiculaires, *m o*, *i h*, ſont entr'elles dans les mêmes rapports que *L K*, & *I K*.

IX. LEÇON.

Ce que nous avons nommé juſqu'ici le point d'appui, doit être conſidéré comme une troiſieme puiſſance qui fait équilibre à la force motrice ou à la réſiſtance, ou qui concourt avec l'une des deux pour porter l'effort de l'autre: dans les leviers du premier genre, par exemple, le point d'appui ſoutient l'effort des deux

IX. LEÇON.

forçes qui ſont oppoſées de part & d'autre, dans ceux du ſecond & du troiſieme genre, il ne porte qu'une partie de l'une des deux.

Ce n'eſt pas toujours un point fixe & inébranlable qui ſert d'appui; le plus ſouvent ce ſont des corps flexibles ou qui peuvent s'écraſer, ou bien des corps animés, dont la réſiſtance n'eſt point à l'épreuve de tout effort. Lorſqu'une poutre, par exemple, repoſe par ſes extrémités ſur les deux murs d'un bâtiment, ſon propre poids ou celui dont elle eſt chargée, les feroit s'écrouler s'ils n'étoient bâtis aſſez ſolidement. Les mulets qui portent des brancarts ſuccombent ſous la charge quand elle excede leurs forces. Il eſt donc important de ſavoir de combien eſt chargé le point d'appui, ou ce qui en fait l'office, lorſque deux autres forces agiſſent l'une contre l'autre ſur le même levier, afin de le pouvoir mettre en proportion avec l'effort qu'il doit ſoutenir: & comme ce point d'appui pourroit bien être de nature à ne pas réſiſter également dans toutes ſortes de directions, il faut examiner

miner auſſi comment ſe dirige l'effort qu'il ſoutient par les différentes directions qu'on peut donner à la puiſſance & à la réſiſtance. Nous avons fait voir précédemment, que l'action d'une puiſſance quelconque appliquée au bras d'un levier, réſulte de deux choſes : 1°. De ſa maſſe, ou du poids auquel elle équivaut, ſi c'eſt un reſſort, l'effort d'un animal, ou toute autre force qui n'agit point en vertu de la peſanteur : 2°. De ſa diſtance au point d'appui ; & nous avons fait connoître d'où il faut compter cette diſtance. * L'effort qui vient de la maſſe & qu'on peut nommer *abſolu*, eſt limité ; une livre, ou l'action d'une puiſſance équivalente à une livre, lorſqu'elle peſe ſur le bras d'un levier, dans la direction la plus avantageuſe, ne peut que faire équilibre à un pareil poids qui lui eſt oppoſé avec les mêmes circonſtances. Mais l'effort qui vient de la diſtance au point d'appui peut croître à l'infini ; de ſorte que ſi l'un des deux bras étoit 100 fois auſſi long que l'autre, une livre deviendroit équivalente à 100. Quelle ſera donc

IX. LEÇON.

* *V. Exp. Fig* 17.

IX. LEÇON. la charge sur le point d'appui, premiérement, s'il y a équilibre avec égalité de masse; secondement, si les masses ou les forces sont en équilibre par l'inégalité de leurs distances au point d'appui?

Pour répondre à la premiere question, je dis que si les directions de la puissance & de la résistance sont paralleles entr'elles, le point d'appui se trouve chargé de la somme des deux forces absolues, & son effort se fait dans une direction parallele à celles de la puissance & de la résistance.

Mais si les directions des deux forces opposées sont inclinées l'une à l'autre, le point d'appui ne porte qu'une partie de leur effort absolu; il en porte d'autant moins qu'elles sont plus inclinées au levier; & sa résistance tend au point de concours de ces deux directions: deux expériences serviront d'éclaircissements & de preuves.

VI. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

Au revers de la machine qui est re-

préſentée par la *Figure* 15, on a fixé, à deux pouces de diſtance du plan, les poulies *A* & *B*, *Fig.* 23, qui ſont très-mobiles ſur leurs axes ; & par le moyen deſquelles on ſuſpend horizontalement un levier d'acier *D E*, que l'on tient en équilibre avec les deux petits poids *p*, *r* ; on ſuſpend enſuite au point *C* un poids de 4 onces, & aux bouts des cordons deux autres poids, *P*, *R*, qui peſent chacun 2 onces.

EFFETS.

Tout étant ainſi diſpoſé, le poids qui eſt en *C* tient les deux autres *P*, *R*, en équilibre ; ſi l'on ôte les deux petits, *p*, *r*, le poids de 4 onces deſcend par la ligne *C I* ; il remonte au contraire par la ligne *C F*, ſi l'on ajoute également aux maſſes *P*, *R*.

VII. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

Cette expérience ſe prépare comme la précédente, excepté que le levier *I K*, *Fig.* 24, eſt plus court que *D E*, *Fig* 23, & que le poids *L* n'eſt que de 3 onces.

EFFETS.

IX. LEÇON. Les deux directions KN, IQ, des deux puiſſances P, R, étant obliques au levier, à quelque degré d'obliquité que ce ſoit, le poids L eſt toujours moindre que quatre onces pour faire équilibre aux deux autres qui peſent chacun deux onces : ſi les directions KN, IQ, deviennent moins obliques au levier, comme NO, QS, il faut augmenter la maſſe L pour conſerver l'équilibre ; & quand ce poids deſcend ou remonte, c'eſt toujours par la ligne LM.

EXPLICATIONS.

Dans ces deux dernieres expériences, on peut regarder le poids P comme la puiſſance, R comme la réſiſtance, & la maſſe qui eſt ſuſpendue au point C, ou L, comme la valeur de l'effort qui ſe fait au point d'appui lorſque tout eſt en équilibre ; car il eſt évident que ſans ce dernier poids, le levier ſeroit emporté de bas en haut par les deux autres puiſſances. Or il faut 4 onces au point C, quand les deux maſſes P, R, ſont chacune

de deux onces, & que leurs actions sont toutes deux dans des directions perpendiculaires au levier, comme *AD*, *BE* *; nous avons donc eu raison de dire, qu'en pareil cas le point d'appui est chargé de la somme totale de la puissance & de la résistance; & puisque le poids qui représente l'effort du point d'appui se meut dans la ligne *IF*, quand il devient plus fort ou plus foible; c'est une marque qu'il agit suivant cette direction, qui est, comme nous l'avons annoncé, parallele à celles de la puissance & de la résistance.

IX. LEÇON.

*Fig. 24.

Dans l'autre expérience, on voit encore la preuve de ce que nous avons avancé; le poids qui suffit pour arrêter le point *L* du levier contre les efforts qui se font en *I* & en *K*, n'est jamais de quatre onces, comme il faut qu'il le soit, quand les directions des puissances sont perpendiculaires au levier; ce qui prouve bien que le point d'appui n'est plus chargé de la somme entiere des deux masses *P*, *R*; & cela doit être ainsi, puisque, comme nous l'avons prouvé & expliqué, l'action d'une puissance est d'autant

IX. LEÇON.

diminuée, que sa direction est oblique au bas du levier par lequel elle agit: enfin l'effort du point d'appui se dirige au point *M*, parce que c'est là que se réunissent, par leurs tendances, les deux forces auxquelles il résiste.

Quant à la seconde question, savoir quel est l'effort qui se fait sur le point d'appui lorsque la puissance & la résistance se mettent en équilibre par des distances inégales entr'elles & le point d'appui: je réponds que cet effort n'est jamais plus grand que la somme des forces absolues ou des masses qui sont opposées; c'est-à-dire, que si le poids d'une livre en soutient un de 12, parce qu'il agit par un bras de levier qui est douze fois plus long que celui de l'autre part, le point d'appui ne peut jamais être chargé que de 13 livres, & non pas de 24; & son effort se dirige comme dans les cas précédents, parallelement aux directions des forces qu'il soutient, si ces directions sont paralleles entr'elles, ou bien directement au point de leur concours, si elles sont inclinées l'une à l'autre.

VIII. EXPERIENCE. IX. LEÇON.

PRÉPARATION.

Sur une même baſe *A B*, *Fig.* 25, on a élevé deux piliers qui gliſſent dans deux mortaiſes, de maniere qu'ils peuvent s'approcher & s'écarter l'un de l'autre ; *C*, *C*, ſont deux poulies, ſur chacune deſquelles paſſe un petit cordon pour ſoutenir une petite tringle d'acier *E E*, par le moyen des deux petits poids *D*, *D* ; la piece *F G*, eſt une verge de fer qui eſt un peu entaillée en deſſous aux $\frac{3}{4}$ de ſa longueur, & qui par le moyen d'un poids que l'on attache en *F*, ſe met en équilibre avec elle-même, & avec les petits poids *D*, *D*, que l'on augmente autant qu'il le faut pour cet effet.

On ſuſpend d'abord en *F*, un poids de 6 onces ; en *G*, un autre poids de 2 onces ; & l'on ajoute aux petits contre-poids qui ſont en *D*, *D*, deux maſſes de 4 onces chacune. Voyez la *Fig.* 26, où l'on a repréſenté, par des lettres de mêmes noms, celles de ces quantités ſeulement qui intéreſſent la théorie.

LX. LEÇON.

EFFETS.

Il y a équilibre par-tout : 1°. Entre les deux masses inégales qui sont appliquées au levier *f g* ; 2°. Entre ce levier qui est ainsi chargé, & les deux poids *d*, *d*, qui soutiennent le point d'appui *e e*, ou plutôt, qui représentent son effort ; & si l'on souleve un peu ces deux derniers poids, aussitôt le point d'appui descend par la ligne *e K*.

IX. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut écarter l'un de l'autre les deux piliers *A*, *B*, de la machine que nous avons décrite *, ensorte que la direction du cordon de chaque côté devienne oblique au levier, comme *c e*, *c e*, *Fig.* 27 ; ensuite la verge *f g*, ayant été avancée jusques aux deux tiers de la longueur de la tringle d'acier *e e*, on met en *L* & en *M* des masses telles qu'il les faut pour tenir le tout en équilibre.

Fig. 25.

EFFETS.

Alors le poids *L* se trouve être de

8 onces, & celui qui eſt en *M*, de 4 onces, ce qui fait en ſomme 12 onces de maſſe; & lorſqu'on diminue cette quantité, ou qu'on ſouleve ces deux poids, le point d'appui *H* deſcend en ſuivant la ligne *H I*, ce qui s'apperçoit facilement, ſi l'on place derriere un fil à plomb. La même choſe arrive, ſi l'on met en *H* un poids de 8 onces au lieu du levier *f g* chargé de ſes deux poids.

IX. LEÇON.

EXPLICATIONS.

Dans la huitieme expérience, il y a équilibre entre une maſſe de 6 onces & une autre de 2 onces; parce que celle-ci qui n'eſt que le tiers de l'autre eſt trois fois autant éloignée qu'elle du point d'appui; & nous avons fait voir qu'en pareil cas l'excès de viteſſe d'une part, compenſe l'excès de la maſſe de l'autre part: mais quoiqu'une puiſſance augmente à meſure que le bras du levier devient plus long, il ne paroît pas que cet accroiſſement charge aucunement le point d'appui, puiſque l'effort qui ſe fait en *g* *, quoiqu'équivalent au poids de

* *Fig.*

IX. LEÇON.

6 onces qui pese en *f*, ne produit point en *e* la somme de 12, mais seulement celle de 8, exprimée par les deux poids *d*, *d*, de 4 onces chacun, & égale aux deux masses qui sont en équilibre aux bras du levier *f g*. La même chose se prouve encore plus directement par la neuvieme expérience, puisqu'en substituant en *H* * un seul poids qui égale en masse celle du levier chargé, les mêmes effets subsistent.

* Fig 27.

* Fig 26. Si rien ne soutenoit le levier, * que les deux puissances restassent en équilibre entre elles, & perpendiculaires aux extrémités *f* & *g*: il est évident que tous les points compris entre ces deux derniers, tomberoient par des lignes paralleles à celles des puissances; & c'est ce que l'on voit arriver lorsqu'on souleve un peu les deux poids *d*, *d*: le point d'appui descend par la ligne *e K*; cette ligne exprime donc sa tendance de bas en haut, ou la direction de son effort.

On peut dire aussi que si ces puissances cédoient de part & d'autre à l'effort qui se fait au point *H*, * pourvu qu'en cédant elles ne changeassent

* Fig. 27.

point de rapport, les deux extrémités du levier décriroient en descendant, les paralleles $e N$, $e O$, & le point d'appui se trouveroit toujours dans la ligne $H I$; son effort se fait donc dans cette ligne où les directions des puissances se joignent lorsqu'elles sont inclinées entr'elles.

APPLICATIONS.

Puisque l'on peut savoir combien il se fait d'efforts sur un appui, ou sur tout ce qui en fait l'office, lorsque l'on connoit la valeur absolue des puissances & leurs directions à l'égard du levier, par lequel elles agissent; on peut donc prévenir les accidens qui pourroient naître des disproportions, ou mettre à profit des forces qu'on regarderoit comme insuffisantes si l'on ne savoit pas les appliquer avec tout l'avantage qu'elles peuvent avoir.

Que l'on place, par exemple, une charge de 200 livres au milieu d'un levier dont les extrémités reposent sur les épaules de deux hommes; ces deux appuis suffiront au fardeau, si chacun des porteurs est capable de

IX. LEÇON.

soutenir 100 livres. Mais si l'un des deux n'en peut porter que 50, quand bien même l'autre pourroit suffire à un effort de 150 livres, le plus foible ne succombera pas moins, tant que le fardeau sera à égales distances entre son collegue & lui ; & tous deux deviendront inutiles pour l'ouvrage qu'on en attendoit. Mais que l'on place la charge plus loin du porteur le plus foible, & que les bras du levier devenus inégaux, soient en raison réciproque des efforts dont les deux hommes sont capables ; & alors le fardeau sera soutenu, comme il auroit pu l'être d'abord par deux autres hommes qui auroient pu suffire chacun à un effort de 100 livres.

Qu'un Charpentier porte une solive, c'est toujours à peu près par le milieu de la longueur qu'il la pose sur son épaule : en la plaçant ainsi, il ne porte que le poids de la piece de bois, parce que les deux bouts qui passent de part & d'autre, se font équilibre réciproquement ; & le point d'appui n'est chargé que de la somme totale des deux masses. Mais s'il la posoit aux deux tiers, ou aux trois

quarts de sa longueur, il seroit obligé, pour l'empêcher de tomber, de la retenir avec ses bras par le bout le plus court ; & cet effort seroit équivalent à un poids qui feroit équilibre avec l'excès de longueur que la solive auroit du côté opposé : l'épaule du porteur seroit donc inutilement chargée de cette quantité de plus.

IX. LEÇON.

Ces deux exemples que je viens de citer sont si simples, & se rencontrent si fréquemment, que la plupart de ceux qui nous donnent lieu de les remarquer, suppléent au raisonnement par l'habitude & par le seul instinct de la nature. Mais il y a une infinité de cas où l'on a besoin d'être instruit & de réfléchir, & où l'on ne réussit que par une application raisonnée de ces mêmes principes, dont nous avons naturellement une idée confuse.

Ce n'est aussi qu'en réfléchissant sur ces loix de la nature, qu'on peut se rendre compte d'un nombre infini de précautions & d'usages que nous adoptons dès l'enfance, ou que nos besoins & la seule industrie ont fait naître.

IX. LEÇON.

Pourquoi, par exemple, un homme qui tire un bateau ou quelque fardeau attaché au bout d'une corde, se penche-t-il en avant? c'est qu'il appuie l'action des muscles sur une partie du poids de son corps pour vaincre la résistance contre laquelle il agit. Mais s'il manque de point fixe, si celui qu'il a ne l'est point assez, soit par sa nature, soit par une direction désavantageuse; s'il marche sur un plan mobile, tel qu'un bateau qui n'est point arrêté; s'il est sur un terrein glissant ou incliné; toutes ces causes, qui se réduisent à un défaut d'appui, rendent ses efforts inutiles, ou en diminuent les effets.

C'est pour prévenir des inconvéniens de cette espèce, que l'on jette de la cendre ou du fumier, sur les endroits fréquentés qui sont couverts de verglas, & que dans les grands hyvers on met des pointes aux fers des chevaux, ce que l'on nomme, *ferrer à glace.* Sans cette pointe ou talon que l'on pratique aux patins pour piquer la glace, où pourroit-on prendre son point d'appui pour s'élancer sur un plan dont l'avantage le plus

considérable est de n'avoir aucune inégalité qui puisse arrêter le pied ? Les peuples du Nord qui sont obligés le plus souvent de voyager sur la neige, marcheroient sur un appui qui ne seroit point assez fixe, s'ils ne prenoient la précaution de se mettre aux pieds des espèces de raquettes, beaucoup plus larges que la semelle de nos souliers, par ce moyen ils s'appuient en marchant sur une plus grande partie du plan, ce qui supplée à son défaut de solidité.

IX. LEÇON.

Quand des chevaux tirent une voiture en montant, ce qui les fatigue, n'est pas seulement le poids de la charge qui est alors moins soutenue par le terrein, c'est encore l'inclinaison de ce terrein qui leur présente le point d'appui dans une direction fort oblique à celle de leur effort, car leurs jambes, en se roidissant contre le terrein, s'inclinent dans le même sens que lui ; & l'on conçoit bien que plus elles s'approchent du parallélisme, moins les pieds sont appuyés : c'est pourquoi l'on pratique souvent dans ces sortes de chemins certaines inégalités qui facilitent le tirage ; sem-

IX. LEÇON.

blables à peu près aux marches de nos escaliers, qui présentant un plan horizontal à l'effort du pied qui le fait dans une direction presque verticale, résistent beaucoup mieux que ne pourroient faire des portions du plan incliné sur lesquelles elles sont établies.

Ceux qui sont dans l'usage de tourner, doivent savoir combien il est nécessaire qu'un levier soit bien appuyé, pour soutenir les efforts opposés de la puissance & de la résistance: car qu'est-ce qu'un ciseau, une gouge, un burin, sinon un levier du premier genre appuyé sur un support, & dont la main du Tourneur porte le tranchant ou la pointe contre un morceau de bois, de cuivre, de fer, *&c?* Si le support n'est pas bien ferme par lui-même, s'il n'est pas proportionné aux efforts qu'il doit soutenir, si sa position, ou celle de l'outil qu'il soutient, donne à sa résistance une direction désavantageuse, il en résulte, comme l'on sait, beaucoup de mauvais effets; les matieres dures se tournent par ondes, (ce qu'on appelle, *guillocher*,) celles qui sont tendres s'arrondissent

s'arrondiſſent imparfaitement, l'outil s'engage, & fait de faux traits; en un mot, c'eſt un défaut eſſentiel dans un tour, lorſque ce qui doit ſervir d'appui aux outils, manque ou de ſolidité ou de mouvements néceſſaires pour lui donner les directions les plus convenables; & celui qui ne ſait pas placer le ſupport avantageuſement, n'eſt point un habile Tourneur.

IX. LEÇON.

DES MACHINES

Qui ſont compoſées de Leviers, ou qui agiſſent comme des Leviers.

Les leviers entrent dans la conſtruction d'un ſi grand nombre de machines, qu'il ne ſeroit pas poſſible de les y faire remarquer par un détail exact. Les Auteurs qui ont traité le plus amplement de la méchanique, ſe ſont diſpenſés, avec raiſon, de cet examen ſuperflu, & ſe ſont contentés, après avoir établi les principes, d'indiquer, par quelques exemples choiſis, l'application qu'on en fait dans les arts: les bornes que nous nous ſommes preſcrites, exigent que nous en uſions avec encore plus de

réſerve ; c'eſt pourquoi nous ne parlerons ici que des machines les moins
IX. LEÇON. compoſées, de celles qui s'éloignent ſi peu de la ſimplicité du levier, qu'on les compte quelquefois au nombre des machines ſimples.

De la Balance commune & de la Romaine.

La balance ordinaire repréſentée par la *Figure* 28, eſt une machine qui ſert à mettre en équilibre deux quantités égales de matiere, de ſorte que ſi l'on connoît le poids de l'une, on ſait, par ce moyen, combien peſe l'autre.

Cette machine eſt compoſée d'un *fléau A B*, dont la longueur eſt partagée en deux parties égales par un *axe*; de deux *baſſins*, *C*, *D*, ſuſpendus aux deux extrémités des bras du fléau, & d'une *chaſſe E*, *F*, qui ſert d'appui à l'axe, où eſt le centre du mouvement.

On reconnoît facilement que cette balance n'eſt autre choſe qu'un levier partagé en deux bras égaux par ſon appui, & chargé des efforts d'une

puissance & d'une résistance dont les directions sont paralleles entr'elles, & perpendiculaires à sa longueur, lorsqu'il est horizontal comme *A B*; ou faisant avec elle des angles égaux de part & d'autre, lorsqu'elle est inclinée comme *a b*; de sorte que s'il étoit possible de faire une balance d'une matiere inflexible & sans pesanteur, nous aurions peu de choses à ajouter à ce que nous avons dit & prouvé précédemment. Mais comme la nécessité où l'on est de faire le fléau de quelque matiere dure telle que du fer ou du cuivre, & de lui donner une figure & des dimensions qui l'empêchent de plier, fait quelquefois perdre de vue ce que prescrit la théorie; je crois qu'il est à propos d'examiner en peu de mots ce qui peut rendre une balance juste ou défectueuse. IX. LEÇON.

Les qualités essentielles d'une balance sont, 1°. d'être bien mobile, c'est-à-dire, que la plus petite différence entre les deux quantités de matiere dont elle est chargée fasse trébucher le fléau, afin qu'on puisse regarder son état d'équilibre, comme

IX. LEÇON.

le ſigne certain d'une égalité parfaite dans les maſſes de part & d'autre : 2°. Que ſes bras ſoient toujours bien égaux ; car s'ils ne le ſont pas, ils meſureront des diſtances inégales du point d'appui aux points de ſuſpenſion où ſe font les efforts des puiſſances, & deux maſſes égales ne pourront point s'y mettre en équilibre ; 3°. Que les bras ſoient dans une même direction ; car autrement il ſera difficile de juger s'ils font des angles égaux de part & d'autre avec les directions des puiſſances. Il n'eſt point facile de concilier enſemble ces trois points de perfection ; il ſe rencontre, dans la conſtruction de l'inſtrument, pluſieurs difficultés à vaincre ; & dans l'uſage même, une balance exige des attentions ſans leſquelles la plus exacte ceſſe de l'être.

La mobilité d'une balance dépend principalement de trois choſes ; ſavoir, du plus ou moins de frottement qui ſe fait à l'axe ; car on ſait que c'eſt un obſtacle au mouvement ; de la poſition du centre de peſanteur qui peut être placé hors du centre de mouvement ; & de la longueur des

Fig. 21.

Fig. 22.

Fig. 24.

Fig. 23.

bras, puiſqu'un très-petit poids peut faire un grand effort, étant fort éloigné du point d'appui. IX. LEÇON.

Pour rendre la balance plus mobile par la diminution du frottement, il faut que la preſſion au point d'appui ſoit la moindre qu'il eſt poſſible; & c'eſt pourquoi l'on fait très-léger le fléau des balances d'eſſais, où l'on a beſoin d'une très grande mobilité: mais il faut prendre garde auſſi qu'étant trop foible il ne plie ſous la charge des baſſins; car ſa courbure auroit d'autres inconvénients dont nous ferons bien-tôt mention. C'eſt encore dans la vue de diminuer le frottement de l'axe, qu'on le fait un peu en couteau; & cette pratique eſt bonne, pourvu cependant que l'endroit du trou ſur lequel il porte, ſoit comme lui très-dur; car autrement, ou il ſe creuſeroit avec le temps, ou il s'écraſeroit lui-même; & ſa mobilité, au lieu d'être augmentée, diminueroit conſidérablement.

Si le fléau de la balance eſt ſuſpendu par le centre de ſa peſanteur, ſes deux bras ſeront toujours en équilibre, dans quelque ſituation qu'on

IX. LEÇON

les mette ; & pour peu que l'un des deux soit plus chargé que l'autre, la balance trébuchera : cette extrême mobilité devient incommode dans l'usage ordinaire, parce qu'il faut beaucoup de temps & d'attention pour charger les bassins avec une égalité aussi parfaite qu'il le faudroit pour les tenir en équilibre ; c'est pourquoi l'on a coutume de placer le centre de mouvement au-dessus de celui de la pesanteur. On peut voir, par la *Fig.* 29 avec quelle réserve il faut user de ce correctif, qui n'est, à proprement parler, qu'une imperfection mise à dessein ; car si le triangle *ABC* représente un fléau de balance mobile sur le point *C*, & qu'on lui fasse prendre une situation inclinée comme *a b*, le centre de pesanteur qui est dans la ligne *CD*, quand les deux bras sont dans un plan horizontal, se trouvera alors dans la ligne *C d*, & fera effort pour revenir dans la ligne verticale qu'il a quittée ; s'il est libre d'y revenir, l'accélération de sa chûte le fera passer outre, il viendra en *f* ; & c'est ce qui cause ces balancements qu'on remarque à tous les fléaux, & qui

n'auroient pas lieu ſi le centre de peſanteur n'étoit plus bas que le centre de mouvement.

Puiſque de tels fléaux ne peuvent s'incliner ſans que le centre de peſanteur ſe déplace, & que ce déplacement ne peut ſe faire ſans un effort particulier, il eſt évident que cette conſtruction ôte à la balance une partie de ſa mobilité, & qu'on ne doit éloigner le centre du mouvement que le moins qu'il eſt poſſible de celui de la peſanteur, ſur-tout lorſque cet inſtrument doit ſervir à peſer des marchandiſes précieuſes, dont les moindres quantités intéreſſent.

La longueur des bras contribue auſſi à la mobilité de la balance, par la raiſon que nous avons dite : c'eſt un moyen qui pourroit par lui-même rend.e ſenſible le poids des plus petites portions de matiere ; mais un fléau de balance ne peut acquérir une plus grande longueur, qu'en devenant ou plus peſant ou plus flexible ; l'un & l'autre ſont à craindre : le premier, parce qu'il augmente le frottement par une plus grande preſſion à l'axe : le ſecond, par des raiſons que nous allons rapporter.

I
LE

IX. LEÇON.

La seconde condition, que nous avons exigée pour faire une balance exacte, c'est que ses deux bras soient parfaitement égaux ; or ce n'est point assez qu'ils le soient quand on construit l'instrument, il faut de plus qu'ils ne cessent point de l'être dans l'usage. Si le fléau n'a pas toute la roideur nécessaire, il se courbe sous la charge des bassins ; & cette courbure, quelque petite qu'elle soit, diminue la mobilité, & jette de l'incertitude sur les effets de la balance. Car premiérement, si la ligne droite *AB*, *Fig.* 30, devient courbe comme *a Cb*, les courbures de part & d'autre se réduisent aux deux lignes droites *a C*, *Cb*, & forment, avec la ligne *a b*, un triangle auquel on peut appliquer ce qui a été dit de celui qui est représenté par la *Figure* 29. Secondement, les directions des puissances *af*, *bg*, ne font plus des angles droits avec les bras courbés du fléau. A la vérité, ceci n'est point un inconvénient, si ces angles, quoique différents de ce qu'ils étoient, sont toujours semblables entr'eux ; & c'est pour s'en assurer qu'on éleve une aiguille à angles

gles droits sur le milieu du fléau. Si la chasse est suspendue librement, elle prend d'elle-même une direction verticale qui fait connoître quand l'aiguille est perpendiculaire au plan de l'horison ; & alors on juge que les deux bras de la balance font des angles semblables, avec les directions des puissances dont ils sont chargés ; mais cela suppose, comme l'on voit, ou que le fléau est demeuré droit, ou qu'il s'est courbé également de part & d'autre ; car si la partie Cb a plié davantage que celle de l'autre part, la ligne sera plus courte que aC, & son inclinaison ne sera pas la même.

IX. LEÇON.

Cette différence d'inclinaison qu'on doit appréhender, si le fléau est flexible, & la difficulté d'en estimer le plus & le moins dans la pratique, sont des raisons sur lesquelles j'établis la troisieme condition : si, par le choix de la matiere, par la façon de la travailler, par une figure ou par des dimensions bien ménagées, on construit une balance de maniere que ses bras soient inflexibles, sans préjudicier aux autres qualités nécessaires, ils seront toujours dans une même

IX. LEÇON.

direction, & leur équilibre dépendra uniquement de l'égalité des masses dont ils seront chargés : cela ne doit s'entendre cependant que du fléau seul, & lorsqu'il n'est pas chargé de ses bassins ; car les points de suspension changent de place quand le fléau s'incline ; & par cette raison l'une des puissances s'approche, & l'autre s'éloigne du point d'appui, comme on le verra par la *Fig.* 31.

Soient *A B*, les deux trous où l'on attache les crochets ou anneaux qui suspendent les bassins : tant que le fléau est horizontal, les points de suspension sont en *a* & en *b*, à égales distances du centre du mouvement ; mais s'il s'incline comme *D E*, les anneaux glissent, & l'un des deux se trouve en *d*, plus loin, & l'autre en *e*, plus près qu'il n'étoit du centre de mouvement. C'est par cette raison qu'un fléau seul fait beaucoup de balancemens, & qu'il en fait moins, quand il est chargé de ses bassins, sur-tout s'il s'incline considérablement, parce qu'alors il perd entiérement son équilibre.

On peut remarquer aussi que comme

on fait ordinairement de grands trous pour donner plus de liberté aux anneaux, quoique leurs centres soient dans la même ligne que celui de l'axe, les deux bras du fléau, qui sont, à proprement parler, les deux lignes *a c*, *b c*, ne sont pas pour cela dans la même direction; & c'eſt une choſe à laquelle on doit avoir égard dans la conſtruction des balances, puiſque cela ſeul peut être cauſe que le centre de peſanteur ſe trouve hors du centre de mouvement (*a*). IX. LEÇON.

L'aiguille que l'on place ſur le fléau pour connoître quand il eſt dans une direction horizontale, peſe en partie ſur l'un des deux bras, quand la balance s'incline, comme il paroît par la *Figure* 32; & par cette raiſon, toutes les fois qu'elle paſſe la ligne verticale d'un côté ou de l'autre, elle ſeroit cauſe d'erreur ſi l'on ne prévenoit cet inconvénient par un contre-

(*a*) Pour remédier à ces inconvéniens, les bons Ouvriers pratiquent aujourd'hui, à chaque extrémité du fléau, une boucle diviſée en deux par une traverſe; dont le bord ſupérieur un peu concave eſt taillé en couteau, pour recevoir l'anneau ou l'*S* qui porte les cordons du baſſin. Voyez la figure 31 *.

IX. LEÇON.

poids *h i*, que l'on ménage dans la partie opposée sous le fléau ; mais ce contre-poids n'empêche qu'une partie du mal, s'il n'est d'une pesanteur parfaitement égale à celle de l'aiguille, ce qui n'est point facile, quand le fléau *m n*, l'aiguille *k l*, & le contre-poids *h i*, sont d'une même piece, comme cela se fait ordinairement.

La balance la mieux faite pourroit manquer d'exactitude dans la maniere dont elle seroit mise en usage : elle pourroit, par exemple, n'être plus assez mobile, & même devenir fausse, par inégalité de longueur dans ses bras, si l'on ne proportionnoit pas à la force du fléau les masses dont on charge les bassins ; car alors une grande pression à l'axe y causeroit trop de frottement, & les bras pourroient se courber, ce qui seroit équivalent aux défauts qui naîtroient d'une mauvaise construction. On courroit risque aussi de prendre pour équilibre ce qui ne le seroit pas, si la chasse mal suspendue, ou gênée, ne prenoit pas une direction verticale ; car alors le fléau pourroit n'être pas horizontal sans qu'on s'en apperçût ; & l'on a pu

voir, par tout ce qui a été dit ci-dessus, que cette position est celle où il y a le moins à craindre d'équivoque : elle n'en est pourtant pas absolument exempte ; on peut faire une balance fausse à qui l'on conservera cette propriété d'être en équilibre avec elle-même dans une direction horizontale : un des deux bras peut être plus court, mais aussi pesant que l'autre : tant que les bassins seront vuides, l'équilibre subsistera ; mais s'ils sont chargés de quantités égales de matiere, celui qui sera suspendu au plus long bras l'emportera sur l'autre ; car des poids égaux ne peuvent point être en équilibre qu'à des distances égales du point d'appui. IX. LEÇON.

La balance Romaine, ou peson qu'on a représenté par la *Fig.* 33, est encore un levier du premier genre, qui differe de la balance ordinaire en ce qu'il met en équilibre deux puissances fort inégales entr'elles : un seul poids *P*, que l'on met à différentes distances de l'axe ou point d'appui *C*, sert à peser des quantités beaucoup plus grandes les unes que les autres, que l'on attache au crochet *R* ;

IX. LEÇON.

parce que le bras de levier CH étant gradué, & la puiſſance P étant connue, on ſait combien la réſiſtance a plus de maſſe, par la différence qu'il y a dans les diſtances compriſes entre l'une & l'autre, & le point d'appui.

Nous ne nous arrêterons pas beaucoup à cet inſtrument, parce qu'on y peut appliquer preſque tout ce qui a été dit ci-deſſus touchant la balance ordinaire; on remarquera ſeulement que le peſon eſt d'un uſage commode, en ce que n'ayant beſoin que d'un ſeul poids qui n'eſt pas conſidérable, il eſt très-portatif en petit; & quand on l'emploie en grand ſur des maſſes qui ſont très-peſantes, & qu'on ne peut pas diviſer, on eſt diſpenſé d'avoir un grand nombre de poids difficiles à raſſembler, & le point fixe en eſt beaucoup moins chargé; mais il faut obſerver auſſi que cet inſtrument ne peut pas ſervir à peſer exactement de petites quantités, parce qu'il n'eſt point aſſez mobile, ce qui vient principalement de ce qu'un de ſes bras eſt fort court.

DES POULIES.

IX. LEÇON.

La poulie, *Fig.* 34, eſt un corps rond & ordinairement plat mobile ſur ſon centre *C*, & dont la circonférence extérieure eſt creuſée *en gorge* pour recevoir une corde ou une chaine à laquelle on applique d'une part la puiſſance *E*, *F* ou *G*, & de l'autre la réſiſtance *R*.

Il faut ou que la corde mene la poulie, ou que la poulie mene la corde; c'eſt pourquoi quand on a lieu de craindre que celle-ci ne gliſſe ſur l'autre, on creuſe la gorge en forme d'angle, ou bien on la garnit de pointes, *Fig.* 35.

Le corps de la poulie ſe meut pour l'ordinaire dans une chappe *CD*, qui ſoutient l'axe : on eſt dans l'uſage de fixer les deux bouts de l'axe dans la chappe, & de faire tourner la poulie deſſus ; il vaudroit mieux fixer l'axe à la poulie, & faire tourner le tout enſemble dans les trous de la chappe, parce que le mouvement ſe faiſant ſur moins de ſurface, il y auroit moins de frottemens ; & quand bien même les trous de la chappe s'aggrandi-

IX. LEÇON.

roient avec le temps, comme il n'y a que la partie inférieure qui reçoit l'effort, la poulie n'en tourneroit pas moins [illegible]ndement, ce qui ne se peut faire, quand le centre de la poulie est trop ouvert.

Les expériences que nous allons rapporter feront connoître, 1°. qu'une poulie peut être employée comme un levier du premier genre, dont les bras sont égaux, & sur lequel deux puissances, dont les forces absolues sont égales, demeurent toujours en équilibre, quelques directions qu'elles prennent: 2°. Que les puissances qu'on y applique, agissent, d'autant plus fortement, que leur distance à l'axe est plus grande: 3°. Que l'axe est chargé de la somme totale de la puissance & de la résistance, & que son effort se fait dans une direction parallele aux leurs, & qui tend à leur point de concours.

X. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

La *Figure* 36 représente une machine composée de deux piliers éle-

vés & fixés sur une tablette plus longue que large; l'un porte une poulie à jour, de métal, & l'autre un levier en équerre dont les bras sont égaux, & qui tourne très-librement sur son clou & dans le même plan que la poulie. IX. LEÇON.

On fait passer d'abord sur la poulie un cordon aux bouts duquel on attache deux poids égaux *P*, *R*, qu'on laisse agir dans les directions parallèles & verticales, comme *A P* & *B R*.

Ensuite on transporte le poids *R* au cordon qui tient au bras *D* du levier angulaire, & l'on place le cordon de la poulie, comme *P A*, *F E*.

Enfin le poids *R* étant remis à sa premiere place, & le levier angulaire étant tourné de maniere que *D* soit en *d*, & *E* en *e*, on attache le poids *P* au bout d'un cordon *dp*, & le cordon de la poulie qui le portoit, au bras *e* du levier tournant.

EFFETS.

Les deux poids *P*, *R*, sont toujours en équilibre, non-seulement quand ils sont tous deux dans des directions paralleles & verticales, mais encore

IX. LEÇON.

lorſque l'un des deux agit horizontalement ſur la poulie, ſoit que la corde embraſſe les trois quarts de la poulie, ſoit qu'elle n'en embraſſe qu'un quart.

EXPLICATIONS.

La poulie *A F B* peut être regardée comme un aſſemblage de leviers du premier genre, dont les bras ſont égaux, & qui ont un point d'appui commun au centre *C* où eſt l'axe. Lorſque le cordon eſt vertical de part & d'autre, s'il ne peut pas gliſſer ſur la poulie, il doit avoir le même effet que s'il étoit de deux piéces, dont une fût attachée en *A*, & l'autre en *B*. Il y a donc équilibre entre les deux poids *P*, *R*, parce qu'ils agiſſent à des diſtances égales du point d'appui, & que chacun d'eux fait ſon effort dans une direction perpendiculaire au bras du levier *A C*, ou *B C*.

L'équilibre ſubſiſte par les mêmes raiſons dans les deux autres cas; les rayons *G C* & *F C* ſont égaux aux deux premiers, *A C*, *B C*; & les directions *E F* & *e G* leur ſont perpendiculaires comme *R B* l'eſt à *B C*: toute

la différence qu'il y a, c'eſt que les deux puiſſances agiſſent d'abord par un levier droit *A B*, & qu'enſuite elles ſont comme appliquées à des leviers angulaires *A C G*, ou *A C F*; ce qui eſt la même choſe, quant aux effets, comme nous l'avons fait voir ci-deſſus. *

* *Page 47.*

XI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La *Figure* 37 repréſente une poulie compoſée de pluſieurs plans circulaires qui laiſſent entr'eux des épaiſſeurs, & dont les circonférences ſont creuſées en gorge; les diametres, & par conſéquent les rayons de ces cercles, ſont entr'eux comme les nombres 1, 2 & 3. Sur la plus petite des trois circonférences on a placé une corde à laquelle ſont ſuſpendus deux poids de ſix onces chacun; & l'on a fixé en *a* & en *b* deux autres cordes qui embraſſent les deux autres circonférences, & qui pendent perpendiculairement aux points 2 & 3.

IX. LEÇON.

EFFETS.

Quand les deux poids ſont en *H* & en *I*, il y a équilibre entre 6 onces d'une part & 6 onces de l'autre. Si l'on ôte celui qui eſt en *H*, un autre poids de 3 onces fait la même choſe en *K*; & quand celui-ci eſt ôté, 2 onces placées en *L*, ſoutiennent le poids de 6 onces en *I*.

EXPLICATION.

Le rayon *C* 1 étant égal à *Cd*, il y a équilibre entre deux poids égaux, parce que leurs efforts ſe font à égales diſtances du point d'appui. Mais *C* 2, étant double de *Cd*, l'équilibre doit naître entre deux maſſes qui ſont en raiſon réciproque de ces deux longueurs; ainſi trois onces en ſoutiennent 6; & par la même raiſon 2 onces ſuffiſent à une diſtance qui égale trois fois *Cd*.

XII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

La poulie *GH*, *Fig.* 38, eſt ſuſpendue par ſon axe dans deux petites

boucles de métal qui ſont ſoutenues de part & d'autre par des cordons qui paſſent ſur deux petites poulies, & qui ſe réuniſſent à deux poids égaux *B*, *D*, de ſorte que la grande poulie a deux mouvemens ; car elle tourne ſur ſon axe à l'ordinaire, & ſon axe peut deſcendre avec elle d'une certaine quantité, lorſque la réſiſtance des poids *B*, *D*, vient à céder.

EFFETS.

Ces deux poids cédent, & la poulie tombe d'environ deux pouces, lorſque deux autres poids *E F*, qui peſent enſemble & avec la poulie un peu plus que *B D*, ſe trouvent dans des directions paralleles & verticales : & la poulie remonte en partie, lorſqu'ayant ôté le poids *F*, on retient avec la main le cordon dans la direction *A C*.

EXPLICATIONS.

Quand les deux poids *E F* ſont ſuſpendus parallelement, leurs efforts ſont perpendiculaires à *G*, *H*, qu'on doit regarder comme les extrémités d'un levier droit ; & nous avons fait

IX. LEÇON.

voir qu'en pareil cas le point d'appui porte la ſomme totale des deux maſſes; l'axe qui le repréſente, ſouffre donc de haut en bas un effort qui égale les deux poids E, F, & celui de la poulie pris enſemble; les deux autres B, D, qui s'oppoſent à ſa chûte, & qui repréſentent ſa réſiſtance de bas en haut, ſont un peu plus foibles que cette ſomme; c'eſt pourquoi la poulie deſcend. Mais elle ſe releve, quand un des côtés de la corde ceſſe d'être paralleſe à l'autre; car alors l'effort qu'il ſoutient ſe fait ſelon la ligne IK, & ne porte plus qu'obliquement contre les puiſſances B, D.

APPLICATIONS.

La poulie employée comme levier du premier genre, eſt un moyen ſimple & commode, & dont on ſe ſert fréquemment pour changer la direction du mouvement. Car de quelque maniere que ſe préſente une puiſſance dans le plan où eſt la poulie, elle ſe trouve toujours perpendiculaire à quelqu'un des rayons, ce qui lui conſerve toute ſon intenſité. Ainſi quoiqu'un cheval ou un bœuf exerce

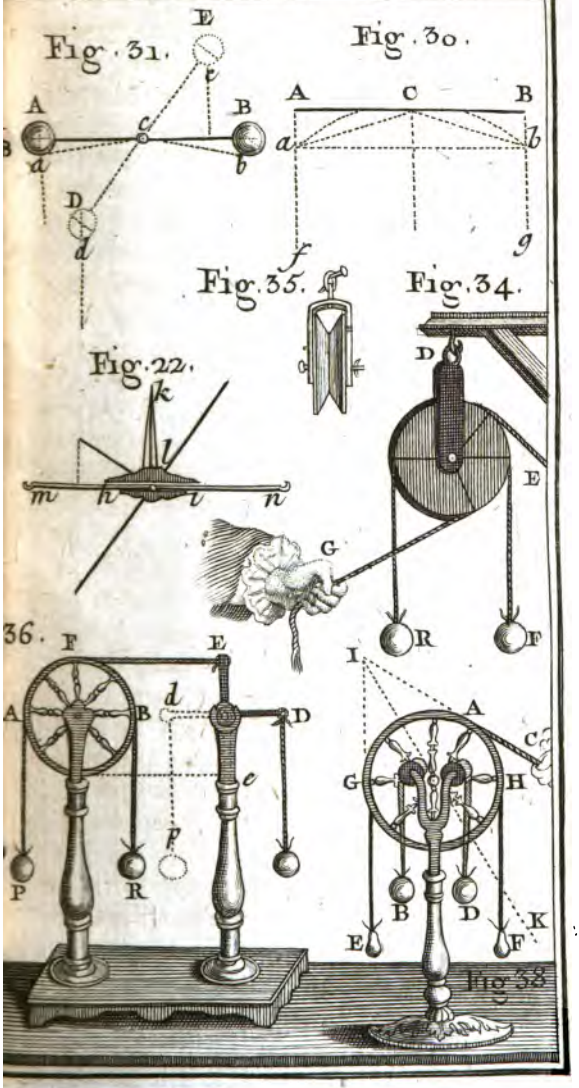


Fig. 31.
E
e
A
B
C
a
b
D
d
Fig. 30.
A
C
B
a
b
f
g
Fig. 35.
Fig. 34.
D
E
G
R
F
Fig. 22.
k
l
m
h
i
n
36.
F
E
A
B
d
D
e
P
R
p
I
A
C
G
H
B
D
K
E
F
fig. 38

UNIV. OF MI

naturellement sa force dans une ligne horizontale, on peut néanmoins par des renvois de poulies appliquer ses efforts à des résistances qui sont dirigées verticalement; quoiqu'un poids tende toujours à tomber, il peut être élevé, si par le moyen d'une poulie on le met en opposition avec un plus fort. IX. LEÇON.

Les leviers coudés ou angulaires, comme nous l'avons déjà fait remarquer, changent bien aussi les directions; mais la poulie a cet avantage sur eux, qu'elle rend le mouvement continu, & qu'elle conserve les puissances toujours dans les mêmes directions qu'on leur a fait prendre d'abord. Cette différence s'apperçoit aisément par la seule inspection des *Figures* 22 & 36.

Comme une poulie qui a plusieurs gorges concentriques, * peut servir à rendre égales des forces qui sont différentes entr'elles, lorsque les diametres de ces gorges sont dans des rapports convenables; on peut conséquemment entretenir l'équilibre, ou bien un rapport constant entre deux puissances dont les forces relatives

* *Fig* 37.

changent continuellement. Car au lieu
IX. de plusieurs gorges concentriques, on
LEÇON. peut n'en faire qu'une qui ne rentre pas sur elle-même, mais qui prenant la forme d'une spirale, s'éloigne peu à peu du centre, suivant la proportion dont l'une des deux forces s'affoiblit.

Une des plus heureuses applications qu'on ait faites de cette conséquence, c'est d'avoir rendu uniforme l'action des ressorts qui animent les montres & les pendules. Nous avons dit dans la seconde Leçon *, que ces ressorts comme tous les autres, agissent toujours de plus en plus foiblement, à mesure qu'ils se détendent ; le rouage qu'ils mettent en mouvement, leur opposant toujours la même résistance, il est évident que la montre ou la pendule iroit toujours en retardant, pendant tout le temps que le ressort mettroit à se développer, si l'on n'avoit pas trouvé un moyen de prévenir cet inconvénient. Au lieu d'envelopper sur un cylindre la chaîne qui sert à tendre le ressort, on la reçoit sur une fusée, dont la figure * est telle, que les tours vont toujours en diminuant de diametre,

* *Tom. I*, *p.* 135, *Fig.* 10.

Fig. 39.

metre, comme la tenſion du reſſort augmente. Tout l'art conſiſte à trouver ce rapport; car la théorie ne peut ſervir qu'à en approcher, les Horlogers ſont toujours obligés d'en venir à des épreuves, parce que les reſſorts ne ſont jamais régulièrement flexibles & élaſtiques dans toutes les parties de leur étendue.

IX. LEÇON.

QUAND on ſait de combien l'axe d'une poulie doit être chargé, on eſt en état de lui donner les dimenſions les plus convenables: ce qu'on doit avoir principalement en vue, c'eſt premiérement, qu'il ſoit aſſez fort; ſecondement, qu'il n'ait que la groſſeur néceſſaire, afin d'éviter les frottements d'une trop grande ſurface. Mais comme la chappe d'une poulie eſt toujours attachée à quelque point fixe, il faut auſſi faire attention que ce qui la ſoutient ſoit aſſez ſtable pour réſiſter aux efforts qui ſe font ſur l'axe: il faut même avoir égard aux différentes directions que peuvent prendre ces efforts; car tel appui réſiſteroit dans un cas, qui céderoit dans l'autre.

ON peut auſſi conſidérer la poulie

IX. LEÇON.

simple comme un levier du second genre ; elle en a effectivement les propriétés, lorsque la résistance *R*, *Fig.* 40, étant attachée à la chappe, un des bouts de la corde tient à un point fixe *a*, ou *g*, pendant que l'autre est tiré ou soutenu par la puissance *P*, ou *d*. Et alors ou les directions de la puissance & de la résistance sont paralleles entr'elles comme *c I*, *d E*, ou elles sont inclinées l'une à l'autre comme *P k*, *c k*.

Dans le premier cas, la puissance ne porte que la moitié du poids de la résistance ; dans le second, l'effort de la puissance diminue, & le point d'appui se dirige au point de concours des directions de la puissance & de la résistance ; c'est-à-dire, en *k*.

XIII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

A, *B*, *Fig.* 41, sont deux petites broches longues de trois pouces, qui glissent dans deux rainures à jour, pratiquées aux deux bras du support *G* ; la premiere sert de point fixe à un cordon qui embrasse une poulie char-

gée d'un poids *D*, & dont l'autre bout s'attache au bras d'une balance dont on a ôté un baſſin, & que l'on a miſe en équilibre avec elle-même, par le moyen d'un petit poids attaché en *H*; & cette balance eſt ſuſpendue à l'autre broche *B*.

IX. LEÇON.

On met d'abord les deux petites broches à telle diſtance l'une de l'autre, que les deux bouts de la corde venant de la poulie ſoient paralleles entr'eux.

Enſuite en écartant les deux broches, on fait prendre aux deux bouts de la corde, des directions inclinées en ſens contraires; & dans l'un & dans l'autre cas on charge le baſſin de la balance, autant qu'il le faut pour tenir le fléau dans une ſituation horizontale.

EFFETS.

La poulie & ſon poids *D*, peſant enſemble 8 onces, il n'en faut que 4 dans le baſſin de la balance pour faire équilibre, lorſque les deux bouts de la corde ſont paralleles entr'eux, & dans une direction verticale; mais lorſqu'ils ſont inclinés comme *P l*,

IX. LEÇON.

gm, de la *Fig.* 40, il faut charger davantage le baſſin de la balance pour le tenir en équilibre.

EXPLICATIONS.

En conſidérant le bras *H* de la balance comme la puiſſance qui ſoutient la poulie & ſa charge, après que l'autre bout de la corde eſt fixé en *A*, le poids que l'on met dans le baſſin exprime ſans équivoque l'effort qui ſe fait ſur la puiſſance, lorſque tout eſt en équilibre. Or, on voit par les réſultats la preuve de ce que nous avons avancé ci-deſſus; ſavoir, 1°. que les directions des forces oppoſées étant paralleles, la puiſſance ne ſoutient que la moitié de l'effort de la réſiſtance; car dans le premier cas où les deux bouts de la corde ſont paralleles entr'eux, *ci**, direction de la réſiſtance, eſt auſſi parallele à *de* qui eſt celle de la puiſſance, & 4 onces dans le baſſin de la balance, en ſoutiennent 8 en *D*. 2°. Que les directions des forces oppoſées n'étant plus paralleles, la puiſſance n'eſt plus égale à la moitié de

* *Fig.* 40.

l'effort de la réſiſtance & que la direction du point d'appui paſſe au point de concours des deux autres directions ; car dans le ſecond cas de l'expérience, où la puiſſance agit obliquement comme $P k$, 4 onces dans le baſſin de la balance ne ſuffiſent plus pour faire équilibre, & l'angle $g k c$, eſt égal à celui de l'autre part $P k c$.

Quand les deux bouts de la corde ſont paralleles, comme $a b$, $d e$, on peut les conſidérer comme étant attachés aux deux extrémités du diametre $b e$; lorſqu'ils ſont obliques, comme $P l$, $g m$, on peut les concevoir comme tenant aux points de tangence, l, m: mais les deux lignes $e b$, $m l$, ſont deux leviers du ſecond genre partagés l'un & l'autre en deux bras égaux par la direction $c i$ de la réſiſtance ; le cordon ſuſpendu en a, ou en g, tranſportant le point fixe en b ou en m ; on voit tout d'un coup, que la puiſſance appliquée en e ou en l, agit toujours à une diſtance $e b$, ou $l m$ du point d'appui, double de celle de la réſiſtance placée en c ou en i. Or ſuivant ce qui a été enſeigné touchant le levier, 4 onces à une

IX. LEÇON.

distance double du point d'appui, sont capables d'en soutenir 8.

Mais quand la puissance se dirige obliquement, elle ne suffit plus aux mêmes effets qu'auparavant ; parce que la direction perpendiculaire au bras du levier, est, comme nous l'avons fait voir, la plus avantageuse de toutes, & que par conséquent toutes les autres le sont moins. Il est vrai que $P\,l$, est perpendiculaire au rayon $l\,c$; mais ce rayon par qui l'on peut concevoir que la puissance agit, est oblique à $c\,i$, direction de la résistance, ce qui revient au même.

Enfin le point d'appui dirige son effort par $g\,m$, quand la puissance s'incline comme $P\,l$; parce que dans l'instant de cette inclinaison la poulie n'étant point soutenue du côté de la puissance, elle roule jusqu'à ce qu'elle le soit également de part & d'autre, ce qui n'arrive que quand l'angle $g\,k\,c$ est égal à celui de l'autre part $P\,k\,c$.

APPLICATIONS.

PUISQUE quand on a fixé la corde de la poulie en *A*, *Fig.* 41, il ne faut

plus en *H*, qu'une force de 4 onces pour en ſoutenir une autre de 8 en *D*; & qu'une force de 4 onces eſt toujours la même, ſoit qu'elle agiſſe de haut en bas, ſoit que ſon effort ſe faſſe de bas en haut par le moyen d'une balance; on peut donc ſubſtituer au fléau *HK*, une autre poulie *D* ou *l*, *Fig.* 42, qui fera comme lui l'office d'un levier du premier genre, & il n'y aura jamais en *M* ou en *m*, qu'un effort de 4 onces à ſoutenir.

Si, pour réſiſter à cet effort de 4 onces, on prolonge la corde de *M* en *N*, *Fig.* 44, & qu'on la faſſe paſſer ſous une troiſieme poulie *NO*; celle-ci ſemblable à la premiere, deviendra un levier du ſecond genre, où la puiſſance *O*, une fois plus loin du point d'appui *N*, que la réſiſtance qui charge l'axe, n'aura beſoin que d'une force abſolue qui ſoit moitié de la ſienne; il ne faudra donc plus qu'un effort de 2 onces de bas en haut, & s'il eſt plus commode de tirer de haut en bas, une quatrieme poulie donnera, comme la deuxieme, cette direction.

IX. LEÇON.

La seconde & la quatrieme poulies qui servent de renvoi pour changer la direction, peuvent être placées dans une même chappe ; & si cette chappe est fixée par en haut, sa partie inférieure pourra elle-même servir de point fixe au premier bout de la corde que nous avons supposé être attachée en *F*.

Cette maniere de placer ainsi dans une même chappe plusieurs poulies ou parallélement entr'elles, ou les unes au-dessus des autres, est connue depuis long-temps sous le nom de *mouffles*, ou poulies *mouflées*. Ces machines sont fort en usage pour élever de grands fardeaux ; & elles sont commodes en ce qu'elles occupent peu de place, & que l'on peut, sans embarras, augmenter à son gré l'action d'une même puissance ; mais cela ne se fait, comme dans toutes les autres machines, qu'aux dépens d'une plus grande vîtesse dans la puissance : car si la poulie qui est chargée de la résistance, *Fig.* 40, s'éleve jusqu'à la ligne *d a*, il est évident que la puissance qui produit cet effet, parcourt deux fois autant de chemin dans le même

même tems, puiſque les deux parties *a b*, *d e*, de la corde par laquelle elle agit, doivent ſe trouver au-deſſus de la ligne *d a*, quand le centre de la poulie y ſera parvenu; or ces deux longueurs *a b*, *d e*, égalent deux fois la hauteur *c h*. IX. LEÇON.

L'avantage que les poulies mouflées donnent à la puiſſance, ne peut pas être augmenté à l'infini; quand une fois les mouffles contiennent une certaine quantité de poulies, les frottements inévitables cauſent enſuite un déchet dans le produit des forces motrices, qui ſurpaſſe ce qu'on pourroit gagner en augmentant encore le nombre des poulies.

On doit auſſi diſpoſer les mouffles de façon que les directions des cordes ſe trouvent paralleles le plus qu'il eſt poſſible; car nous avons fait voir que les puiſſances qui agiſſent obliquement, en ont moins de forces, toutes choſes égales d'ailleurs.

DES ROUES.

Une *roue* eſt, comme la poulie, un corps rond, ordinairement plat, & mobile ſur ſon centre; la circonférence,

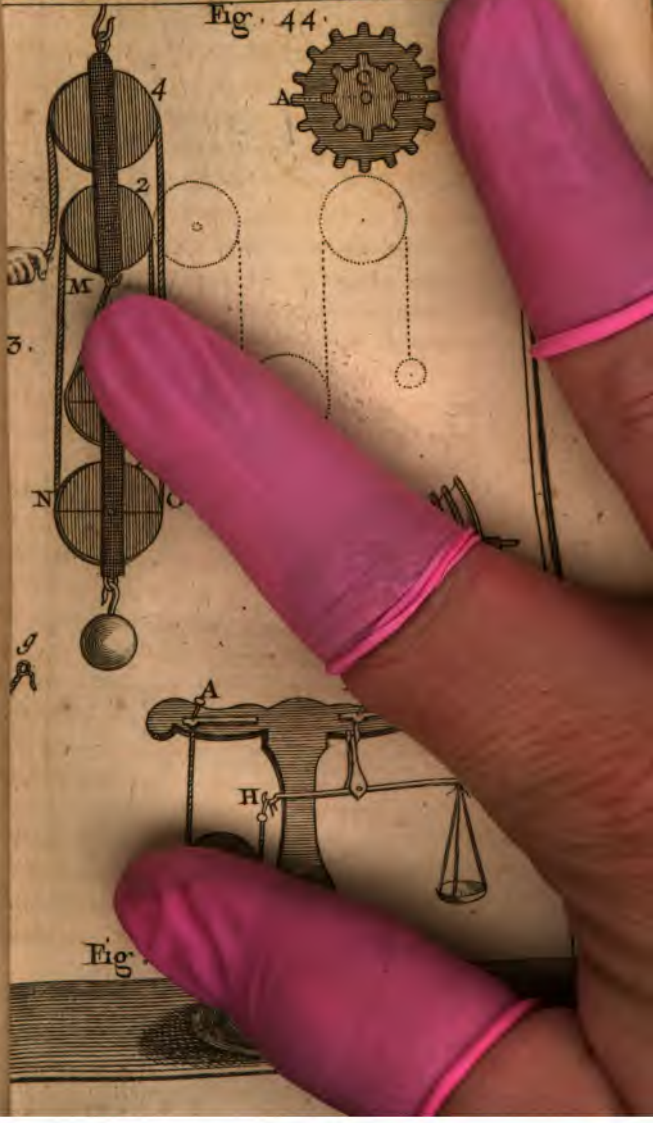
IX. LEÇON.

au lieu d'être creusée en gorge, reçoit le mouvement qu'on lui communique, ou transmet celui qu'elle a reçu, par son frottement, ou par certaines parties saillantes qu'on y réserve ou qu'on y ajoute, & que l'on nomme *dents*, *chevilles* ou *vannes*, suivant la forme & la grandeur qu'elles ont.

Les roues se meuvent de deux façons, ou elles tournent toujours dans le même lieu, avec un axe qui est attaché à leur centre, & dont les pivots tournent dans des trous qui servent d'appui, comme on voit dans les horloges, tournebroches, moulins, &c. ou bien, roulant sur leur circonférence, elles portent leur centre, & l'axe qui le traverse, dans une direction parallele au plan ou au terrein qu'elles parcourent; telles sont celles que l'on met aux carrosses & aux autres voitures.

Les roues qui n'ont qu'une sorte de mouvement, dont les axes ne font que tourner, doivent être considérées comme des leviers du premier genre, qui servent de même que la poulie, à changer la direction du mouvement, à le transmettre au loin,

Fig. 44.



à rendre égales entre elles des puiſſances fort différentes l'une de l'autre, à augmenter la vîteſſe dans l'une des deux.

1°. Les deux dents *A*, *B*, *Fig.* 44, peuvent être priſes pour les extrémités d'un levier partagé en deux bras égaux par le point fixe ou centre de mouvement *C*; & ſi l'on place ſur le même axe une autre roue une fois plus petite, celle des deux puiſſances qui agit par la dent *a*, étant une fois plus près du centre que l'autre, devient par cette raiſon une fois plus foible. On peut donc par ce moyen rendre égale la force d'une livre à celle de deux.

2°. On auroit encore le même effet, ſi la petite roue, au lieu d'être immédiatement appliquée ſur la grande, étoit à l'autre bout de l'axe; de cette maniere, le mouvement de la grande roue *H*, *Fig.* 45, ſe peut tranſmettre à une grande diſtance par la petite roue ou pignon *D*, qui tient au même arbre.

3°. Si ce dernier pignon engrene une autre roue *E*, qui ait des dents paralleles à ſon axe, le mouvement

IX. LEÇON.

qui lui ſera tranſmis changera de direction, & deviendra horizontal de vertical qu'il étoit.

4°. Enfin la roue E, a quatre fois plus de diamettre que le pignon D, comme celui-ci ne peut ſe mouvoir ſans la roue vertical H, il faut que l'une & l'autre faſſent quatre tours, pour faire tourner une fois la roue horizontale E; & réciproquement ſi l'on tourne une fois celle-ci, on fera tourner quatre fois le pignon, l'arbre & la roue verticale. Si l'on ſuppoſe donc à chacun des deux grandes roues une manivelle F, ou G, menée par un homme, qui lui faſſe faire un tour dans une ſeconde; le mouvement aura quatre fois plus de vîteſſe, lorſqu'il fera tourner la manivelle F, que quand on appliquera la même puiſſance en G.

Quant aux roues qui ont deux ſortes de mouvements, comme celles des voitures, dont le centre ſe porte en avant, tandis que les autres parties tournent autour de lui; on doit les regarder comme un levier du ſecond ou du troiſieme genre, qui ſe répete autant de fois qu'on peut imaginer

de points à la circonférence. Car chacun de ces points eſt l'extrémité d'un rayon appuyé d'une part ſur le terrein, & dont l'autre bout chargé de l'eſſieu, qui porte la voiture, eſt en même-temps tiré par la puiſſance qui la mene; de ſorte que ſi le plan étoit inflexible, parfaitement uni & de niveau, ſi la circonférence des roues étoit bien ronde & ſans inégalités, s'il n'y avoit aucun frottement de l'axe aux moyeux, & ſi la direction de la puiſſance étoit toujours appliquée parallelement au plan, une petite force meneroit une charrete très-peſante. Car la réſiſtance qui vient de ſon poids, repoſe entièrement ſur le terrein par le rayon *CM*, *Fig.* 46, ou par un ſemblable qui lui ſuccede l'inſtant d'après.

IX. LEÇON.

Mais de toutes les conditions que nous venons de ſuppoſer, & dont le concours ſeroit néceſſaire pour produire un tel effet, à peine s'en rencontre-t-il quelqu'une dans l'uſage ordinaire.

Les roues des charrettes ſont groſſiérement arrondies & garnies de gros clous; les chemins ſont inégaux par eux-mêmes, ou ils le de-

IX. LEÇON.

viennent par le poids de la voiture qui les enfonce ; ces inégalités, soit des roues, soit du terrein, font appuyer la roue par un rayon CQ ou CN, oblique à la direction de la puissance PC, ou à celle de la résistance CM; le poids qui réside en C pese donc en partie contre la puissance, qui ne peut le faire avancer, qu'en le faisant monter autant que le point Q ou N est au-dessus de M.

D'ailleurs, quand les circonférences rouleroient sur des surfaces parfaitement unies & droites, il se fait indispensablement de l'essieu aux moyeux, un frottement qui est de nature à être toujours considérable, comme nous l'avons remarqué dans la troisieme Leçon *.

* *Tom. I*, p. 233.

Les creux & les hauteurs qui se rencontrent dans les chemins, changent aussi la direction de la puissance. Un cheval, placé plus haut ou plus bas, par la disposition du terrein, au lieu de faire son effort par la ligne CP, *Fig.* 46, parallele à la portion du plan qui porte actuellement les roues, le fait assez souvent par CS, ou CR, c'est-à-dire, obliquement à la direc-

tions *C M* de la réſiſtance, & par conſéquent avec déſavantage.

IX. LEÇON.

Mais s'il n'eſt pas poſſible de ſe mettre abſolument au-deſſus de toutes ces difficultés, on peut cependant les prévenir en partie, en employant de grandes roues; car il eſt certain que les petites roues s'engagent plus que les grandes dans les inégalités du terrein, comme on le peut voir par la *Fig.* 47, & parce que la circonférence d'une grande roue meſure en roulant plus de chemin que celle d'une petite; elle tourne moins vîte, ou elle fait un plus petit nombre de tours pour parcourir un eſpace donné, ce qui épargne une partie des frottements.

Nous entendons par grandes roues celles qui ont cinq ou ſix pieds de diametre; dans cette grandeur, elles ont encore l'avantage d'avoir leur centre à peu près à la hauteur du trait d'un cheval, ce qui met ſon effort dans une direction perpendiculaire au rayon qui poſe verticalement ſur le terrein; c'eſt-à-dire, dans la direction la plus favorable, au moins dans les cas les plus ordinaires.

IX. LEÇON.

Du TREUIL, *ou* TOUR; *&* *du* VINDAS *ou* CABESTAN.

L'INSPECTION ſeule des *Figures* 48 & 49, ſuffit pour faire connoître que ces deux machines, à proprement parler, ſont la même à qui l'on donne différents noms, ſelon les différentes poſitions dans leſquelles on l'emploie. Quand le rouleau ou cylindre *AB*, qui reçoit la corde, & qui eſt la partie principale, ſe trouve placé horizontalement, la machine ſe nomme *Tour* ou *Treuil*; elle s'appelle *Vindas* ou *Cabeſtan*, quand ce même rouleau eſt vertical.

Ces deux machines ſont employées fréquemment aux puits, aux carrieres, dans les bâtiments, pour élever les pierres & autres matériaux, ſur les vaiſſeaux & dans les ports, pour lever les ancres, &c. Et quand on y fait attention, on les retrouve en petit, dans une infinité d'autres endroits où elles ne ſont différentes que par la façon, ou par la matiere dont elles ſont faites. Les *tambours*, les *fuſées*, les *bobines* ſur leſquelles on

enveloppe les cordes ou les chaînes, pour remonter les poids ou les reſſorts des horloges, des pendules, des montres mêmes, &c. doivent être regardés comme autant de petits treuils & de petits cabeſtans.

IX. LEÇON.

Ce que nous avons dit des poulies & des roues, comprend ce qu'il y a de plus important à ſavoir touchant le treuil : car ſi l'on conçoit l'arbre tournant comme une ſuite de poulies enfilées ſur le même axe, ſi l'on conſidere les leviers en croix, qui ſervent à le mettre en mouvement, comme des rayons prolongés, de la premiere de ces poulies ; enfin, ſi l'on fait attention que quand l'axe tourne, tout ce qui fait corps avec lui participe à ſon mouvement ; on verra tout d'un coup que cette machine fait l'office d'un levier ſans fin, du premier ou du ſecond genre, qui a deux bras inégaux à compter du point fixe *h*, ſavoir, le demi-diametre du cylindre *g h*, *Fig.* 50. par lequel agit la réſiſtance, & un autre rayon *h K* du même cylindre prolongé par un des leviers qui forment la croix, & par lequel la puiſſance fait ſon effort.

IX. LEÇON.

La puiſſance P ou p eſt donc à la réſiſtance G, comme la longueur Ph, ou ph, eſt à gh, ou Kh; c'eſt-à-dire, que ſi chacun des leviers croiſés, à compter depuis le centre du cylindre, eſt quatre fois plus long que le demi-diametre gh, un poids de 400 livres, attaché à la corde Gh, peut être ſoutenu par un effort équivalent à 100 livres, qui réſiſteroit en P.

Mais ſi l'on n'avoit qu'un effort de 100 à employer de cette maniere contre 400; lorſque le levier P viendroit à tourner, la puiſſance prendroit une direction déſavantageuſe & ne ſuffiroit plus, comme on l'a expliqué en parlant des manivelles; & d'ailleurs, ſi ces leviers croiſés étoient fort longs, un homme ne pourroit pas facilement quitter l'un pour reprendre l'autre; c'eſt pourquoi aux carrieres, aux minieres, & dans les grues où le treuil eſt employé en grand, les leviers croiſés aboutiſſent à une circonférence, & forment une grande roue que l'on garnit de chevilles, comme T, T. *Fig.* 51. Par ce moyen la force des hommes, toujours appliquée à une même diſtance du

Fig. 46.

Fig. 48.

Fig. 51.

centre de mouvement, & perpendiculairement au levier, agit uniformément, & plusieurs peuvent travailler en même-temps par un même rayon sans s'incommoder réciproquement.

Si la corde, après avoir enveloppé le rouleau dans toute sa longueur, retournoit sur elle-même pour l'envelopper une seconde ou une troisieme fois, comme il arrive quand on se sert du treuil pour élever des fardeaux à une grande hauteur; il faut avoir égard à l'augmentation du diametre du rouleau; car puisque son rayon est le levier de la résistance, quand le diametre de la corde est ajouté une ou deux fois à la longueur de ce rayon, l'effort du fardeau se trouve plus loin de l'axe au point d'appui, ce qui l'augmente d'autant: mais aussi, par une sorte de compensation, la partie de la corde qui est enveloppée sur l'arbre, cesse de peser contre la puissance.

IX. LEÇON.

II. SECTION.

Du Plan incliné.

EN traitant de la peſanteur dans la ſixieme leçon *, nous avons donné la définition du plan incliné, & nous avons fait connoître comment & dans quels rapports il retarde la chûte des corps graves. Nous ſuppoſerons donc comme une vérité prouvée, qu'une maſſe qui roule ou qui gliſſe de haut en bas le long d'un plan incliné, eſt en partie ſoutenue par ce plan, & qu'elle l'eſt d'autant plus, que l'inclinaiſon eſt plus grande.

* *Tome II, pag. 177 & ſuiv.*

Il ſuit de ce principe, qu'une puiſſance appliquée à ſoutenir un corps ſur un plan incliné, n'a pas beſoin d'être égale au poids de ce corps: & comme un poids n'eſt autre choſe qu'une force dont la direction eſt déterminée, on peut dire plus généralement, qu'une puiſſance quelconque, qui eſt obligée de ſuivre un plan incliné à ſa direction, peut être égalée ou vaincue par une autre puiſſance plus foible.

Mais puiſqu'un plan fait obſtacle à la chûte d'un corps, parce qu'il eſt oblique à la direction de la peſanteur, on doit préſumer qu'il affoiblira de même toute autre puiſſance dont la direction ſera oblique à la ſienne; & en effet l'expérience prouve, 1°. qu'une petite force en ſoutient une plus grande ſur un plan incliné; 2°. qu'une petite force employée contre une plus grande, n'agit jamais avec autant d'avantage, que quand ſa direction eſt parallele au plan incliné, par lequel elle fait ſon effort. IX. LEÇON

I. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

La machine qui eſt repréſentée par la *Fig.* premiere, eſt compoſée d'une tablette *AC*, longue d'environ 15 pouces & large de trois ou quatre; elle eſt jointe par une charniere en *C* à une autre tablette au bout de laquelle eſt fixé un quart de cercle qui ſert à régler & à fixer ſon inclinaiſon, *D* eſt un cylindre de bois dur qui peſe 5 ou 6 onces, & qui tourne très-librement ſur ſon axe, dans une eſpece

IX. LEÇON.

de chappe de métal, soutenue par deux cordons qui passent sur deux poulies de renvoi e, e, & au bout desquels sont attachés deux poids d, d, de deux onces chacun. Les deux petites poulies sont portées par une piece de métal que l'on peut placer à différents endroits sur le quart de cercle.

On incline le plan AC à peu près de 45 degrés ; on place le cylindre ou rouleau D en sa partie inférieure, & l'on met les poulies de renvoi de façon que les cordons qui tirent le rouleau soient paralleles au plan incliné, & on laisse agir les deux poids d, d.

Ensuite on répete la même chose, excepté seulement qu'on place les poulies de renvoi en E ou en F, afin que leurs directions se trouvent au-dessus & au-dessous du plan incliné, & faisant un angle avec lui, comme ADF, ou ADE.

EFFETS.

Les cordons étant dans une direction parallele au plan incliné, les deux poids qui pesent ensemble 4 onces, commencent à enlever le rouleau qui en pese environ 6. Mais

lorſqu'on a placé les poulies en *F* & en *E*, ces mêmes poids ne ſuffiſent plus pour faire monter, ni même pour arrêter le rouleau. Le même effet arrive, ſi, au lieu de changer les poulies de place, on incline plus ou moins le plan *A C*.

IX LEÇ

EXPLICATION.

Le rouleau de notre expérience eſt un corps grave qui eſt naturellement déterminé à ſe mouvoir de haut en bas, & perpendiculairement au plan de l'horizon : deux cauſes concourent à l'arrêter ; la premiere eſt la réſiſtance du plan incliné ſur lequel il poſe ; la ſeconde eſt l'effort des deux poids *d*, *d*. Si cette derniere cauſe agiſſoit ſeule, il faudroit que la ſomme des deux poids fût égale à la maſſe du rouleau : on a vu par le réſultat de l'expérience, que 4 onces en ſoutiennent 5 ou 6, par le moyen du plan incliné ; il eſt donc indubitable qu'en pareil cas une petite force en peut ſoutenir une plus grande.

Pour rendre raiſon de cet effet, ſuppoſons que la ligne *a c*, *Fig.* 2,

IX. LEÇON.

soit le plan incliné, que le cercle *dfg* est la basse du cylindre ou rouleau, que tout le poids de ce corps réside au centre *k*, & qu'il est en équilibre avec une puissance dont la direction est *kp*, pendant que son poids le sollicite à tomber par la ligne *kh*, perpendiculaire à l'horizon *bc*. Voilà donc deux forces appliquées à l'extrémité *k*, d'un même rayon ou levier, dont l'autre bout *d* est appuyé sur le plan; mais l'une des deux fait avec ce levier un angle droit *pkd*, elle agit dans la direction la plus avantageuse qu'elle puisse avoir; l'autre au contraire agit par une ligne inclinée à ce même levier, & fait avec lui un angle aigu *dkh*, ce qui le réduit à la longueur *de*, selon ce que nous avons enseigné dans la Section précédente: ainsi comme *de* est plus court que *dk*, on peut dire que le poids du rouleau le cede d'autant à la puissance *p*: & pour ramener ceci à une regle générale, on doit faire attention que le triangle *dke* est semblable à celui qui représente le plan incliné *abc*, & que les deux lignes *de*, *dk*, par conséquent ont le même rapport

rapport entre elles que *a b* & *a c*; d'où il ſuit cette propoſition, que *le poids du mobile eſt à la puiſſance qui le ſoutient, comme la hauteur du plan incliné eſt à ſa longueur*: c'eſt-à-dire, qui ſi la ligne *a b*, hauteur du plan, eſt à la ligne *a c*, qui exprime ſa longueur, dans le rapport de 2 à 3, avec un effort de 2 onces on peut ſoutenir un poids de 3 onces, placé ſur un plan incliné.

Mais comme la puiſſance n'a cet avantage ſur la réſiſtance qu'en conſéquence d'une direction plus favorable à ſon effort, elle doit en avoir moins lorſqu'elle ceſſe d'agir parallelement au plan; car dans toute autre poſition, elle eſt inclinée au rayon *d k*. Le plan incliné n'eſt favorable à la puiſſance, que parce qu'il ſoutient en partie le poids du mobile. Quand cette puiſſance agit au-deſſus du plan comme *k i*, elle ne laiſſe pas porter au plan tout ce qu'il pourroit porter; & ſi elle s'en éloigne juſqu'à tirer directement le poids ſuivant la ligne *k l*, il eſt évident qu'alors le plan n'eſt plus chargé de rien, & que l'effort de la puiſſance doit être égal au

poids du mobile pour le soutenir.

IX. LEÇON. Lorsqu'elle agit au-dessous du plan, comme *k m*, une partie de sa force est employée en pure perte contre le plan; & l'on conçoit bien que si elle s'abaissoit jusqu'à prendre la direction *k n*, la résistance du plan devenant directe, l'empêcheroit d'avoir aucune action contre le poids du mobile.

APPLICATIONS.

L'expérience que nous venons d'expliquer fait voir, non-seulement qu'on peut tirer avantage des plans inclinés pour vaincre des résistances, ou pour soutenir de grands poids avec des forces moins grandes qu'il n'en faudroit employer pour les arrêter, ou pour les élever dans une direction verticale; elle fait connoître aussi, qu'un mobile dont le centre de pesanteur n'est point soutenu, doit toujours tomber, quoiqu'il pose d'ailleurs. Car il ne suffit pas que le rouleau porte au point *d* sur le plan *; sans l'effort de la puissance *p*, il rouleroit de haut en bas, parce que le centre de sa pesanteur qui agit dans la direction *k k*, n'est point soutenu.

* *Fig.* 2.

C'eſt ainſi qu'on peut rendre raiſon d'une infinité d'effets dont on eſt ſurpris, & qu'on a peine à expliquer, quand on ignore, ou qu'on ne fait point attention à ce principe. La *Fig.* 3, par exemple, repréſente un ſolide *A* compoſé de deux cônes qui ſont joints par leurs baſes; on poſe ce corps ſur deux regles *B C*, *D C*, qui font enſemble un angle aigu, & qui ſont plus élevées par l'autre bout *B*, *D*, de ſorte qu'il eſt comme ſur un plan incliné; lorſqu'on le laiſſe libre il monte en roulant, & ſuit en apparence une route toute contraire à celle que tous les corps graves ont coutume de prendre.

Cet effet vient de ce que le centre de gravité du corps *A* n'eſt point ſoutenu; car lorſqu'il eſt placé en *C*, il y reſteroit en repos, s'il portoit ſur un rayon *a e*, perpendiculaire au plan horizontal *e f*, *Fig.* 4; mais comme les deux regles font un angle, elles touchent ce double cône par des points qui ſont plus reculés comme *g*: ainſi le centre de gravité qui eſt en *a* porte à faux, & le corps entier con-

IX. LEÇON.

mence à rouler de C vers *B*. A meſure qu'il s'avance dans cette direction, les deux regles étant de plus en plus écartées, le mobile deſcend d'une quantité égale au demi-diametre *a e*, plus grande que la hauteur *f B*, à laquelle il ſemble s'être élevé; & le point *a*, par rapport à l'horizon, deſcend réellement de la quantité *h B*.

Si les corps tombent toutes les fois que le centre de gravité n'eſt point ſoutenu, il eſt vrai de dire auſſi qu'ils ne tombent jamais, tant que ce même centre eſt appuyé; c'eſt pour cela qu'on voit tant d'édifices qui ont perdu leur à-plomb, & qui ne laiſſent pas que de ſe ſoutenir, & certains ouvrages bâtis en ſaillie, qui ne manquent point pour cela de la ſolidité qu'il leur convient d'avoir.

On ſeroit peut-être tenté de croire que c'eſt pour le bon air qu'un Danſeur de corde geſticule preſque toujours des bras; mais la vraie raiſon, c'eſt que, comme il marche ſur une eſpèce de plan très-mobile, qui s'incline continuellement, & de différentes manieres ſous ſes pas: lorſqu'il s'apperçoit que le centre de ſa peſan-

teur n'eſt pas ſoutenu, il le rappelle dans la ligne de direction, en alongeant le bras du côté oppoſé, comme un levier dont le poids eſt d'autant plus puiſſant que ſes parties ſont plus loin du centre de leur mouvement : & lorſqu'il n'eſt point encore aſſez habile dans ſon art, il emploie pour cet effet un contrepoids, qu'il avance à droite & à gauche, ſelon le beſoin. IX. LEÇON.

Les enfans qui commencent à marcher, & qui n'ont point encore acquis l'habitude de diriger leurs corps relativement aux différens plans ſur leſquels ils paſſent, évitent, par les mouvemens de leurs bras, une partie des chûtes auxquelles les expoſe preſque continuellement une démarche qui n'eſt point encore bien aſſurée.

Pourquoi les perſonnes qui ont un gros ventre ſe penchent-elles en arriere? c'eſt que ſans cette attitude, le centre de peſanteur trop peu ſoutenu, les mettroit en danger de tomber ſur la face. Un Crocheteur au contraire, qui porte un gros fardeau ſur le dos, ſe courbe en avant, parce

IX. LEÇON.

que ſa charge & lui ont un centre de gravité commun, qui le plus ſouvent ſe trouve placé hors du porteur, & qui ne ſeroit point ſoutenu s'il marchoit droit. Il faut donc de néceſſité qu'il ſe penche juſqu'à ce que le centre ſe trouve dans une ligne verticale qui paſſe entre ſes deux pieds.

Quand on veut ſe tenir debout ſur une jambe, on eſt obligé de faire un mouvement de côté, pour mettre le corps perpendiculairement ſur celui des deux pieds qui doit le ſoutenir; ſi l'on veut ſe baiſſer en portant la tête en avant, il faut néceſſairement porter en arriere la partie oppoſée, pour entretenir l'équilibre entre l'une & l'autre; voilà pourquoi l'on ne peut ni ſe tenir ſur un ſeul pied, ni rien ramaſſer devant ſoi en ſe baiſſant, lorſque l'on a immédiatement à côté & derriere ſoi un mur ou un arbre qui empêche les mouvemens qu'il faut faire, pour placer ou pour maintenir le centre de gravité dans la ligne de direction qui paſſe au point d'appui.

DES MACHINES

IX. LEÇON.

Qui ſont compoſées de plans inclinés.

Parmi les machines qui agiſſent comme plans inclinés, les plus ſimples, & celles dont l'uſage eſt le plus commun, ſont les *Coins* & les *Vis* : je me bornerai à ces deux eſpèces ; & en examinant leurs principales propriétés, j'en indiquerai quelques autres qui peuvent s'y rapporter.

DU COIN.

On donne communément le nom de Coin à un corps dur compoſé de trois plans qui terminent deux triangles comme *D A C*, *Fig.* 5, les deux plus longs de ces plans forment un angle à la ligne *A a*, qu'on appelle *la Pointe* ou *le Tranchant* : le plus petit *D c*, qui détermine leur écartement, ſe nomme *la Baſe* ou *la Tête*, & la hauteur ſe meſure par la ligne *A B* qu'on regarde auſſi comme l'*axe* du coin.

On ſe ſert ordinairement de cette machine, pour fendre, ſoulever, ou preſſer quelque matiere ; & pour la

IX. LEÇON.

faire agir, on emploie la preſſion d'un reſſort ou d'un poids, & plus communément encore le choc d'un corps dur qu'on fait mouvoir avec une certaine viteſſe, comme un marteau, un maillet, *&c.*

Le plus ſouvent la réſiſtance que l'on a à vaincre avec le coin, vient de la ténacité des parties qu'il faut déſunir & écarter; cette adhérence qui varie à l'infini, ſelon la nature des corps, leur grandeur, leur figure, & quantité d'autres circonſtances, ne peut s'eſtimer que très-difficilement; d'un autre côté, la percuſſion que l'on emploie pour faire agir le coin, eſt une force qu'il eſt bien difficile de comparer ſans erreur à celle d'une ſimple preſſion, parce que le produit de ſon effort ne dépend pas ſeulement de la quantité du mouvement dans le corps qui frappe, mais encore de la nature de celui qui eſt frappé, de la maniere dont il reçoit le coup, & de pluſieurs autres cauſes qui influent ſouvent plus ou moins qu'on ne l'a penſé. J'écarterai donc toutes ces conſidérations comme étrangeres à mon objet préſent; &

pour

pour me renfermer préciſément dans les propriétés du coin, je ſuppoſerai des puiſſances dont on connoît la force abſolue, comme des poids ou des reſſorts d'une force déterminée, afin de n'avoir plus à conſidérer que les rapports que prennent entr'elles la puiſſance & la réſiſtance, par la ſeule interpoſition du coin. IX. LEÇON.

En conſidérant les différentes manieres dont le coin peut agir, j'en conçois principalement deux, auxquelles il me ſemble qu'on peut rapporter toutes les autres avec des modifications. Premiérement, j'imagine deux corps *A*, *B*, *Fig. 6.* appuyés ſur un plan bien ſolide, ſur lequel ils ne puiſſent que gliſſer ou rouler dans les directions *CD*, *CD*; je ſuppoſe auſſi, qu'une force déterminée, comme de 10 livres, par exemple, appliquée en *E*, s'oppoſe à ce mouvement: ſi je fais deſcendre entre les deux corps, le coin *FGH* de toute ſa hauteur, il eſt certain qu'à la fin de cette action les deux mobiles *A*, *B*, ſeront écartés l'un de l'autre de toute la largeur de la baſe *FH*. On conçoit bien auſſi qu'ils le ſeroient plus ou moins, ſi j'employois

IX. LEÇON.

un autre coin dont l'angle fût plus ou moins ouvert, comme imG, ou lnG; mais pour transporter ainsi deux masses qui résistent, il faut de la force, & l'on est obligé d'en employer davantage quand on les transporte à une distance plus grande dans un temps déterminé.

Secondement, je me représente un coin qui fait effort pour écarter davantage les deux parties d'une bûche entr'ouverte, *Fig.* 7, tandis qu'elles résistent à cet écartement, par la liaison des fibres qui sont encore unies au-dessous de l'angle p. Je conçois les deux lignes fp, pq, & de l'autre part tp, tr, comme deux leviers angulaires, dont les bras $prpq$, sont liés ensemble par des fils également distants l'un de l'autre; le coin agissant en t & en f, fait donc son effort par les deux bras tp, fp, contre le premier lien qui est à l'angle p, tandis que les deux autres bras s'appuient mutuellement l'un contre l'autre au-dessous. Si ce lien est inflexible, & qu'il ne puisse céder sans se rompre, l'effort du coin produira cet effet s'il excede un peu la force de ce fil; & s'il est une

fois rompu, celui qui le ſuit immédiatement, quoiqu'auſſi fort, ſe rompra plus facilement par la même action du coin, parce qu'alors le levier de la puiſſance eſt augmenté en longueur, comme on le peut voir par les deux lignes ponctuées qui répondent au ſecond lien; & par la même raiſon, cet avantage que reçoit la puiſſance, doit aller toujours en augmentant. N'eſt-ce pas pour cela que les bois durs & ſecs, les pierres, le verre, & en général toutes les matieres dont les parties ſont fort roides, ſe caſſent par éclat, & ſe fendent fort aiſément dès qu'on a commencé à les entamer? Il n'en ſeroit pas tout-à-fait de même ſi ces liens que je ſuppoſe étoient flexibles, parce que les premiers venant à céder un peu, laiſſeroient porter aux autres une partie de l'effort du coin, & la même force ne ſuffiroit pas pour les rompre tout-à-fait.

Que le coin agiſſe de l'une ou de l'autre façon, il paroît, 1°. Qu'on peut s'en ſervir avantageuſement pour vaincre de grandes réſiſtances: 2°. Que ſon action devient d'autant

IX. LEÇON.

plus puissante, qu'il est plus aigu. L'expérience, en confirmant ces deux propositions, nous donnera lieu de déterminer le rapport des puissances qui agissent l'une contre l'autre par le moyen de cette machine.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Les deux plans *AC*, *BC*, *Fig.* 8. forment les deux faces d'un coin, qui peut devenir plus ou moins aigu, par le moyen d'une charniere qui est au point *C*, & de deux écrous *E*, *F*, qui arrêtent les deux autres extrémités à la regle *GH*; pour cet effet, cette derniere piece doit être percée d'une rainure à jour, dans laquelle on fait glisser deux tourillons à vis que l'on a ajoutés aux bouts des deux plans. *DI* est un chassis placé horizontalement sur deux montants qui aboutissent à une tablette qui leur sert de pied. Deux rouleaux *m*, *n*, tournent dans de petites chappes qui glissent avec beaucoup de facilité, sur deux fils de métal tendus d'un bout à l'autre du chassis. Deux cordons qui tiennent de

Fig. 3.

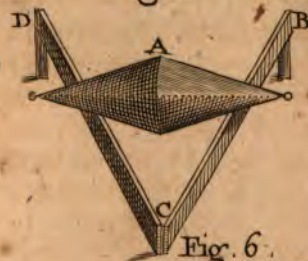


Fig. 6.

Fig. 5.

Fig. 1.

part & d'autre aux chappes des rouleaux, & qui paſſent ſur deux paires de poulies placées au milieu du chaſſis *D I*, ſont reçus en *C* par une bride de métal à laquelle on attache un poids. On voit, par cette diſpoſition, que les rouleaux ne peuvent être écartés l'un de l'autre que par une force capable d'élever le poids *p*, & que le coin *A B C*, agiſſant contre eux par ſon propre poids, ou par celui qu'on lui ajoute, il eſt facile de comparer l'effort de la puiſſance avec celui de la réſiſtance.

IX. LEÇON.

Le poids *p* étant de deux livres, on rend le coin tellement aigu, que ſon propre poids ſuffiſe pour écarter les rouleaux; enſuite on l'ouvre de maniere que ſa baſe *A B*, ſoit égale à la moitié de la hauteur *K C*.

EFFETS.

1°. Lorſque le coin eſt aſſez aigu, quoiqu'il ne peſe qu'environ 8 onces, ſon effort devient ſuffiſant pour écarter les rouleaux.

2°. Lorſque ſa hauteur égale deux fois la largeur de ſa baſe, il écarte encore les rouleaux, c'eſt-à-dire, qu'à-

IX. LEÇON.

vec un effort d'une demi-livre il fait équilibre à une force qui eſt quadruple.

EXPLICATIONS.

Si le poids *p* de notre expérience, étoit partagé en deux autres d'une livre chacun, comme *p*, *r*, *Fig.* 9. & que les deux rouleaux *m*, *n* ne puſſent s'écarter l'un de l'autre ſans faire monter d'autant ces deux poids, il eſt certain que ſans l'intermede de la machine, il faudroit une maſſe égale à deux livres pour leur faire équilibre, & un peu plus pour les faire monter : or nous voyons que par le moyen d'un coin, 8 onces les enlevent ; nous voyons auſſi qu'avec ces 8 onces on produit le même effet quand la baſe du coin égale ſeulement la moitié de ſa hauteur : nos deux propoſitions ſont donc prouvées ; il s'agit maintenant d'expliquer le fait.

La force d'un corps qui ſe meut, ou qui tend à ſe mouvoir, vient de ſa maſſe & du degré de viteſſe qu'il a ou qu'il auroit ſi le mouvement avoit lieu. Or le coin *abc* ne peut deſcendre de toute ſa hauteur, que les rouleaux ne

parcourent en même temps les deux espaces $c\,l$, $c\,i$, & que par conséquent les deux poids p, r, ne fassent autant de chemin en montant ; mais chacun de ces espaces n'est que le quart de la hauteur du coin ; de sorte qu'un poids placé en k fait dans le même temps quatre fois autant de chemin en descendant, que les poids p, r, en font en montant ; ainsi dans le cas de l'équilibre, le poids k doit être à la somme des deux autres en raison réciproque de vîtesses, c'est-à-dire, une demi-livre contre 2 livres lorsque la ligne $k\,c$ est quadruple de la ligne $c\,i$; d'où il suit cette proposition générale : *La puissance est à la résistance dans le cas d'équilibre, comme la demi base du coin est à sa hauteur ;* ce qui n'a lieu cependant à la rigueur, que quand les forces opposées peuvent être comparées à des poids, comme dans l'expérience précédente, & que le coin est bien aigu.

IX. LEÇON.

APPLICATIONS.

Les usages du coin ne sont pas bornés à fendre du bois ou des pierres, & sa forme n'est pas toujours celle d'un morceau de fer grossiérement aiguisé

IX. LEÇON.

qu'on chaſſe à coups de marteaux : on peut dire en général que tous les outils tranchants, de quelque nature qu'ils ſoient, la coignée & la ſerpe du bûcheron, le ciſeau & la gouge du ſculpteur & du menuiſier, la lance & le ſcalpel du chirurgien, le couteau & le raſoir qui ſont entre les mains de tout le monde, ſont autant de coins, dont l'angle, la grandeur, la figure, la dureté ſont proportionnés à la qualité des matieres ſur leſquelles ils doivent agir, & à l'action du moteur qui doit régler leur effort. Cette obſervation ſe préſente d'elle-même, lorſqu'on fait attention que tous ces inſtruments ont eſſentiellement deux ſurfaces plus ou moins inclinées l'une à l'autre, & qui forment toujours à l'endroit de leur jonction, un angle plus ou moins aigu.

Comme c'eſt l'angle qui eſt la partie eſſentielle du coin, il n'eſt pas néceſſaire qu'il ſoit formé par le concours de deux ſeuls plans ; les clous qui ont quatre faces qui aboutiſſent à une même pointe, les poinçons ronds, les épingles, les aiguilles, &c. dont la ſuperficie peut être regardée com-

me un assemblage de lignes qui se réu-
nissent à un angle commun, font aussi IX.
l'office de coins, & doivent être con- LEÇON
sidérés comme tels.

Il faut remarquer que, parmi les différentes sortes de tranchants, il y en a beaucoup que l'on fait agir en les traînant selon leur longueur, en même tems qu'on les appuie directement contre le corps qu'on veut entamer; tels sont les couteaux, les bistouris, &c. Ces sortes d'instruments agissent en même temps comme des coins & comme des scies; car il faut savoir que le tranchant le plus fin est composé de parties qui ne sont pas toutes exactement dans la même ligne: les unes plus hautes que les autres forment autant de petites dents qu'on peut appercevoir avec le microscope, & qui ne tiennent pas contre un long usage; c'est pourquoi l'on a soin de les réparer comme on les avoit fait naître, en frottant les faces de la lame sur une pierre à aiguiser; (ce que l'on nomme *donner le fil*:) tout instrument qui coupe de cette maniere, n'a pas besoin qu'on l'appuie aussi fort qu'un autre; c'est pourquoi

IX. LEÇON.

dans les opérations de Chirurgie on préfère, autant que l'on peut, l'uſage du biſtouri à celui des ciſeaux qui ne coupent qu'en ſerrant, pour éviter la contuſion des parties, & pour épargner de la douleur au malade.

Mais quoiqu'un tranchant ſoit fait pour couper en traînant, comme les couteaux ordinaires, il ne faut point oublier qu'il peut auſſi entamer & diviſer un corps contre lequel il ne feroit que preſſé directement. C'eſt une témérité que de frapper, comme on fait quelquefois, avec la paume de la main ſur le tranchant d'un raſoir; la peau véritablement réſiſte un peu plus quand l'inſtrument n'agit ſur elle que comme un coin, ſur-tout s'il attaque à la fois une grande étendue; mais il eſt toujours dangereux d'eſſayer juſqu'où peut aller cette réſiſtance.

DES VIS.

LA *Vis* eſt un cylindre ou un cône fort alongé, ſur lequel on a creuſé une gorge qui tourne en ſpirale; la cloiſon qui eſt réſervée entre les tours de cette gorge, s'appelle le *Filet* de la vis; & la diſtance qu'il y a d'un filet à l'autre,

ſe nomme le *Pas* : on pratique auſſi ce filet & cette gorge dans une cavité cylindrique pour en faire une vis intérieure ; & quand ces deux ſortes de vis ſont tellement proportionnées, que le filet de l'une peut ſe mouvoir dans la gorge de l'autre, & réciproquement, celle qui eſt creuſe prend le nom d'*Ecrou*.

En jettant ſeulement les yeux ſur les *Fig.* 10 & 11, on reconnoît facilement que le filet d'une vis, à ne conſidérer que l'endroit qui reçoit l'effort de la réſiſtance, n'eſt autre choſe qu'un plan incliné à la baſe du cylindre qu'il enveloppe ; & que ce plan eſt d'autant plus incliné, que les pas ſont moins grands : ainſi lorſqu'une vis tourne dans ſon écrou, ce ſont deux plans inclinés dont l'un gliſſe ſur l'autre. La hauteur eſt déterminée pour chaque tour par la diſtance d'un filet à l'autre, & la longueur eſt donnée par cette hauteur, & par la circonférence de la vis ; car ſi l'on développe un de ces filets *a b*, avec ſon pas *b c*, on aura le triangle *a b c*, *Fig.* 10.

Quand on veut faire uſage de cette machine, on attache ou l'on appli-

IX. LEÇON.

que l'une des deux pieces (la vis ou l'écrou) à la réſiſtance qu'il faut vaincre ; l'autre lui ſert comme de point d'appui ; alors en tournant, on fait mouvoir l'écrou ſur la vis, ou la vis dans l'écrou, ſelon ſa longueur ; & ce qui réſiſte à ce mouvement, avance ou recule d'autant. Aux étaux des Serruriers, par exemple, une des deux mâchoires eſt pouſſée par l'action d'une vis contre l'autre, à laquelle eſt fixé un écrou : il faut, comme on voit, que la puiſſance faſſe un tour entier pour faire avancer la réſiſtance d'un pas, c'eſt-à-dire, d'un filet à l'autre : ainſi en la ſuppoſant appliquée immédiatement à la circonférence de la vis, l'eſpace qu'elle parcourt, ou ſon degré de vîteſſe, eſt $a\,c$, & celui de la réſiſtance eſt $b\,c$; mais comme on fait ordinairement tourner les vis, & ſur-tout celles qui ſont groſſes, avec des leviers ou avec quelque choſe d'équivalent, la force motrice fait beaucoup plus de chemin que ſi elle menoit immédiatement la vis ; ce n'eſt plus $a\,c$ qui exprime ſa vîteſſe, c'eſt la circonférence d'un cercle dont le levier $D\,E$ eſt le demi-diametre. On peut donc

établir en général que dans l'usage des vis, si l'on n'a point égard aux frottements, *la puissance est à la résistance, dans le cas d'équilibre, comme la hauteur du pas* b c, *est à la circonférence que décrit l'extrémité* E *du levier par lequel on agit*, c'est-à-dire, *en raison réciproque des vîtesses.*

IX. LEÇON.

Selon la matiere dont on fait les vis, & les efforts qu'elles ont à soutenir, on donne différentes formes aux filets; le plus souvent ils sont angulaires comme dans la *Fig.* 10, ou quarrés, comme dans la *Figure* 11. Ceux-ci se pratiquent ordinairement aux grosses vis de métal qui servent aux presses & aux étaux, parce qu'elles en ont moins de frottements. On fait aux vis de bois des filets angulaires pour leur conserver de la force; car par cette figure, ils ont une base plus large sur le cylindre qui les porte: on donne aussi la même forme aux filets des vis en bois, je veux dire, ces petites vis de fer qui finissent en pointe, & qui doivent creuser elles-mêmes leur écrou dans le bois; on doit les considérer, de même que les *méches* des vrilles & des tarieres;

IX. LEÇON.

comme des coins tournants, dont l'angle ouvre le bois, d'autant mieux qu'il est plus aigu.

Parmi un grand nombre de machines dont la partie principale est une vis, il en est deux qui tiennent un rang distingué; l'une est cette fameuse vis qui porte depuis près de deux mille ans le nom d'Archimedes, son auteur, & qui peut, dans biens des occasions, s'appliquer fort utilement à élever les eaux: l'autre est la *vis sans fin*, ainsi nommée, parce que son action est continue du même sens, au contraire des vis ordinaires, qui se meuvent dans un écrou, & qui cessent de tourner quand elles ont avancé de toute leur longueur.

La vis d'Archimedes est composée d'un cylindre incliné à l'horizon, qui tourne sur deux pivots *A*, *B*, *Fig.* 12. & d'un canal ou tuyau qui l'enveloppe en forme d'hélice. Un corps grave placé à l'embouchure *C* du canal, tombe par son propre poids en *d*: lorsqu'on fait tourner la vis, le point *d* du tuyau passe au point *e*, & le mobile que son poids retient toujours à l'endroit le plus bas, se trouve dans

le canal au point *f* qui a fait un demi-tour, & qui eſt venu en *g*. En continuant ainſi, on lui fait parcourir toute la longueur de la vis de bas en haut; de ſorte que par le moyen de cette ingénieuſe machine, un corps monte en vertu de la même force qui le fait deſcendre. Si la partie inférieure de cette vis eſt plongée dans l'eau, on conçoit facilement que ce canal doit s'emplir à meſure qu'il tourne, & procurer un écoulement par la partie d'en-haut.

IX. LEÇON.

Comme cette machine ſe meut ſur deux pivots, une force peu conſidérable peut la faire tourner, pourvu qu'elle ſoit bien en équilibre avec elle-même; mais on ne peut guere s'en ſervir que pour élever l'eau à une hauteur médiocre, comme lorſqu'il s'agit de deſſécher un terrein; parce que cette vis étant néceſſairement inclinée, ne peut porter l'eau à une grande élévation, ſans devenir elle-même fort longue, & par-là très-peſante, & ſans courir les riſques de ſe courber & de perdre ſon équilibre.

Ce que l'on nomme ordinairement *Vis ſans fin*, eſt une machine compo-

sée d'une vis dont le cylindre ou
X. noyau tourne toujours du même sens
LEÇON. sur des pivots qui termine ses deux extrémités ; les filets de cette vis, qui sont le plus souvent quarrés, menent en tournant une roue verticale dont ils engrenent les dents. Cette roue porte à son centre un rouleau avec une corde, à laquelle on attache le fardeau qu'on veut élever, de la même maniere qu'au treuil. *Voyez la Figure* 13.

Par le moyen de cette machine, on peut vaincre avec très-peu de force une très-grande résistance : mais cet avantage coûte bien du temps ; car il faut que la vis fasse un tour entier pour faire passer une dent de la roue, & il faut que toutes les dents passent, pour faire tourner une fois le rouleau ; de sorte que si le nombre des dents est 100, & que le diametre du rouleau soit de 4 pouces, pour élever la résistance *P* à la hauteur d'un pied, il faut que la puissance *F* fasse tourner 100 fois la manivelle ; mais il y a bien des occasions où cette lenteur est le principal objet qu'on se propose, comme lorsqu'il s'agit de modérer le mouvement

Fig. 9.
a
k
b
10.
m
n
i
c
l
r
B
P

mouvement d'un rouage, ou bien de faire avancer ou reculer un corps d'une très-petite quantité qu'il importe de connoître. IX. LEÇON

Dans cette section, comme dans la précédente, j'ai toujours fait abstraction des frottements, pour n'avoir égard qu'aux effets qui naissent de chaque machine considérée en elle-même : il est bon d'avertir cependant que dans l'usage des vis & du coin, il arrive souvent que l'effet principal vient des frottements, & que si dans la pratique on négligeoit d'avoir égard à cette espece de résistance, il y auroit bien peu de cas où les forces opposées pussent se comparer avec quelque justesse : deux exemples justifieront cette remarque. Lorsqu'avec un effort équivalent à 100 livres on a chassé un coin entre les deux parties d'une bûche entr'ouverte, la réaction ou le ressort du bois qui s'oppose à l'effort de la puissance, subsiste toujours : quoiqu'on cesse d'agir contre, pourquoi donc le coin ne revient-il point de lui même, quand il n'est point fort obtus ? c'est qu'il oppose alors à la pression du bois qui le sol-

IX. LEÇON.

licite à reculer, le frottement de ſa ſurface qui égale ou qui ſurpaſſe même la force qui l'a fait entrer. Quand on a ſerré les deux mâchoires d'un étau avec la vis, au moment que l'on ceſſe de la faire tourner, la réſiſtance eſt en équilibre avec la puiſſance : ſans le frottement de la vis dans ſon écrou, la moindre force devroit écarter les mâchoires qui ont été ſerrées ; cependant les plus grands efforts ne le ſont pas ; & c'eſt en quoi conſiſte le principal avantage de cet outil.

III. SECTION.

Des Cordes.

LES cordes ſont des corps longs & flexibles, quelquefois ſimples, mais le plus ſouvent compoſés de pluſieurs fibres ou fils de matiere animale, végétale ou minérale. Les chaînes mêmes, par rapport à l'emploi qu'on en fait dans les machines, doivent être conſidérées comme des cordes ; car quoique leur ſtructure ſoit tout-à-fait différente, elles ont les qualités eſ-

sentielles des cordes, la longueur & la flexibilité qui les rendent propres aux mêmes usages.

IX. LEÇON

En méchanique, on emploie communément les cordes: 1°. pour changer la direction du mouvement, comme lorsqu'avec une poulie on fait monter un poids par l'effort d'un autre qui descend: 2°. pour transporter la puissance ou la résistance dans un lieu plus avantageux ou plus commode; c'est par le moyen d'une corde, par exemple, qu'un cheval placé sur le rivage tire un bateau qu'il ne pourroit presque jamais faire mouvoir autrement: 3°. pour lier, serrer, arrêter d'une maniere simple & facile toutes sortes de mobiles qui tendent d'eux-mêmes à se désunir, ou qu'une force extérieure sollicite à s'écarter ou à se déplacer.

Les cordes par elles-mêmes ne peuvent ni augmenter ni diminuer l'intensité des forces qui agissent contr'elles, ou contre lesquelles on les fait agir; que la corde avec laquelle on sonne une cloche ait 15 brasses, ou qu'elle n'en ait qu'une ou deux, le Sonneur n'en a ni plus ni moins

IX. LEÇON.

d'effort à faire ; la force d'un cheval est la même lorſqu'il tire avec un gros ou avec un petit trait : mais parce qu'une corde eſt plus groſſe ou plus longue, elle eſt plus peſante ; elle ſe courbe, lorſqu'elle n'agit pas dans une direction verticale, & elle eſt moins flexible ; or, le poids, la courbure & la roideur des cordes ſont des réſiſtances ou des déſavantages qui exigent un plus grand effort de la part de la puiſſance, & ſur leſquels il eſt néceſſaire de compter dans la pratique.

En parlant des puits où l'on tire l'eau par le moyen de deux ſeaux qui montent & deſcendent alternativement, nous avons déja obſervé que la corde, dans les temps où elle eſt plus longue d'un côté que de l'autre, augmente la charge, & que cette augmentation devient conſidérable, lorſque la profondeur du puits ou du ſouterrein eſt grande : on peut dire la même choſe des fardeaux que l'on traîne ; les cordes ou les chaînes dont on ſe ſert augmentent de leur propre poids la charge ſur laquelle on agit.

La réſiſtance qui vient de la peſanteur des cordes croît comme leur ſo-

lidité ou quantité de matiere : en les considérant comme des cylindres, on doit donc, à longueurs égales, estimer la différence de leur poids par le quarré du diametre. Si, par exemple, à la place d'une corde qui pese 30 livres, ayant un pouce de diametre, on en met une autre de même longueur & de même nature qui soit deux fois aussi grosse, celle-ci pesera 120 livres, c'est-à-dire, quatre fois autant que la premiere, parce que son diametre est double.

IX. LEÇON

Non-seulement le poids de la corde augmente la somme des résistances dans l'usage des machines ; mais il arrive encore assez souvent qu'en la faisant courber, il fait prendre à la puissance une direction moins avantageuse que celle qu'elle auroit si la corde se tenoit parfaitement droite. Lorsqu'on tire un fardeau sur un plan incliné, nous avons fait voir que l'effort de la puissance est le plus grand qu'il puisse être, lorsqu'il est dirigé parallélement au plan, comme *A B*, *Fig.* 1. Mais il y a bien des occasions où la corde, devenant courbe comme *A E B*, à cause de sa longueur & de

IX. LEÇON.

son poids, incline l'action de la puissance au plan, & l'affoiblit d'autant. La longueur seule de la corde, indépendamment du poids, peut apporter quelque changement à la direction de la puissance. Car si elle fait un angle avec le terrein, eu égard à l'élévation de la puissance, elle le fait d'autant plus grand qu'elle est moins longue: quoique les deux lignes *A C*, *A D*, * ne soient ni l'une ni l'autre paralleles au plan *F G*; cependant la premiere s'écarte davantage du parallélisme que la derniere: ainsi toutes les fois qu'une force motrice sera appliquée à une résistance, par le moyen d'une corde ou d'une chaîne, il ne faut point avoir égard à sa direction, ou à sa tendance naturelle, mais à celle qui est indiquée par la chaîne ou par la corde qui transmet son effort.

* *Fig* 1.

La roideur des cordes, lorsqu'elles ont part au mouvement des machines, est ce qu'il y a de plus important à connoître: elle dépend principalement du poids ou de la force qui tend les cordes, de leur grosseur, de la quantité dont on les courbe,

IX. LEÇON.

& de la vîteſſe avec laquelle on les fait plier. M. Amontons * eſt le premier qui ait traité méthodiquement cette partie des méchaniques, dont on n'avoit avant lui qu'une idée confuſe. Il en a montré l'importance, en faiſant connoître que dans les cas les plus ordinaires, la roideur ſeule des cordes peut augmenter d'un tiers la réſiſtance, ſur laquelle on doit faire agir la force motrice ; & il nous apprend d'après l'expérience, 1°.

* *Mém. de l'Acad. des Scienc.* 1699. *p.* 217.

Que la réſiſtance cauſée par la roideur des cordes, augmente en raiſon directe des poids ou des forces qui les tiennent tendus : 2°. Que cette même réſiſtance augmente encore comme le diametre des cordes, toutes choſes égales d'ailleurs : 3°. Que les cordes ſe plient plus difficilement à meſure que les cylindres ou les poulies ſur leſquels on le fait tourner, deviennent plus petits, quoique cette derniere réſiſtance n'augmente pas en raiſon directe du décroiſſement des diametres.

IX. LEÇON.

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

On attache au plancher d'une chambre, ou à quelqu'autre appui ſolide, deux cordes ſemblables *A*, *B*, *Fig.* 2. qui pendent parallélement à 5 ou 6 pouces de diſtance l'une de l'autre, & qui ſoutiennent une tablette *C D*, ſur laquelle on poſe des poids.

Ces deux cordes font dans le même ſens chacune un tour ſur un cylindre *E F*, & au milieu on enveloppe en ſens contraire un ruban ou un fil au bout duquel on attache un baſſin de balance que l'on charge juſqu'à ce qu'il commence à faire rouler le cylindre de haut en-bas, comme on le peut voir par la *Fig.* 3. On emploie dans ces expériences pluſieurs paires de cordes qui ſont toutes de même matiere, & dont les diametres ſont différents, & faciles à comparer : le cylindre doit toujours être du même poids, quoiqu'on varie ſa groſſeur ; & afin que le ruban ou fil qui pend en *f*, ſoit toujours à la même diſtance du point *e* *, on diminue le cylindre

* *Fig.* 3.

en

en ſon milieu ; ou bien en évaluant l'effort du poids qui eſt ſuſpendu au ruban ou fil, on tient compte de la diſtance du point *f* au point *e*, ſi elle eſt augmentée. IX. LEÇON.

Dans cette premiere expérience, le diametre des cordes eſt de trois lignes, celui du cylindre, d'un $\frac{1}{2}$ pouce, & l'on charge d'abord la tablette *CD* de 30 livres, & enſuite de 40 liv.

EFFETS.

1°. Lorſque les cordes ſont tendues par un poids de 20 livres, il faut que le poids *G* ſoit de 45 onces, pour commencer à faire deſcendre le cylindre : 2°. Lorſque l'on tend les cordes avec un poids de 40 liv. le cylindre n'obéit qu'à l'effort de 90 onces.

EXPLICATIONS.

Le cylindre par ſon propre poids, ou par celui qui agit en *f*, tend à deſcendre : ſi quelque choſe le retient, ce ne peut être que la corde qui l'enveloppe de part & d'autre ; car ſans cet obſtacle, on conçoit bien qu'il tomberoit : mais cet obſtacle n'en ſeroit point un, ſi la corde avoit une

IX. LEÇON.

flexibilité parfaite, si elle se plioit sans aucune difficulté : car alors toutes ses parties s'envelopperoient successivement sur le cylindre, & le laisseroient librement passer de l'endroit le plus haut à l'endroit le plus bas : toute la résistance qui cede premièrement à 45 onces, vient donc de la roideur des cordes qui sont tendues par le poids CD ; & puisque cette roideur ne peut être vaincue que par 90 onces, quand le poids qui la fait naître, augmente de 20 à 40, c'est une preuve qu'elle croît, comme nous l'avons dit, en raison directe des forces qui tendent les cordes ; car 45 sont à 90, comme 20 sont à 40.

II. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

On emploie d'abord une paire de cordes, dont le diametre est de deux lignes : elles sont tendues par un poids de 20 livres, & elles enveloppent un cylindre qui a un demi-pouce de diametre.

Ensuite on fait servir une autre paire de cordes une fois plus menues

que les précédentes, à qui l'on donne le même degré de tenſion, & que l'on fait tourner ſur le même cylindre. LE

EFFETS.

Dans le premier cas, il faut 30 onces pour vaincre la roideur des cordes; dans le ſecond, il n'en faut que 15.

EXPLICATIONS.

Quand la corde ſe courbe, ſon diametre perpendiculaire à la ſurface du cylindre qu'elle enveloppe, doit être conſidéré comme un levier qui a ſon point d'appui au cylindre même; plus ce diametre eſt grand, plus la puiſſance ou le poids qui tend la corde, eſt éloigné de ce point d'appui; & par conſéquent plus il réſiſte au poids du cylindre, ou à celui qu'il ſoutient en *g* *. Ou bien l'on peut conſidérer le diametre de la corde & celui du cylindre, comme ne faiſant qu'un même levier, dont le centre du mouvement eſt en *e*; on voit facilement que ſi le bras *ef* reſtant le même, *eh* devient plus long, la puiſ- * Fi

IX. LEÇON.

sance qui agit en *L* en aura d'autant plus de force pour vaincre celle qui pese en *g*. En considérant ainsi la roideur qui vient de la grosseur des cordes, on voit tout d'un coup pourquoi lorsqu'on double leur diametre, il faut aussi doubler le poids qui tend à faire descendre le cylindre. On voit de même pourquoi cette espece de résistance ne croit pas en raison de la solidité des cordes, comme on le pourroit croire, mais seulement en raison des diametres, comme nous l'avons établi dans notre proposition.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Les cordes étant de trois lignes de diametre, & tendues par un poids de 60 livres, on emploie d'abord un cylindre d'un pouce, & ensuite un autre d'un $\frac{1}{2}$ pouce de diametre.

EFFETS.

La roideur des cordes avec le premier cylindre cede à 114 onces, & avec le second à 135.

EXPLICATIONS.

IX. LEÇON.

LES cordes & les poids qui les tiennent tendues reſtant les mêmes, leur roideur ne peut varier que par le diametre du cylindre qu'elles enveloppent. Quand ce cylindre eſt plus petit, la corde eſt obligée de ſe courber davantage ; or puiſque cette courbure en général eſt un obſtacle à la deſcente du cylindre, comme nous l'avons fait voir par la premiere expérience, une plus grande courbure doit augmenter la réſiſtance. On pourroit être tenté de croire, que le diametre du cylindre une fois plus petit, devroit rendre la même corde une fois plus roide : mais l'expérience fait voir que ce rapport n'a pas lieu dans tous les cas ; car 135 onces, à beaucoup près, n'égalent pas deux fois 114, comme le premier cylindre égale deux fois le ſecond, par la grandeur de ſon diametre.

APPLICATIONS.

CE que nous avons prouvé par les expériences précédentes, doit ſervir de regle dans l'uſage des poulies, des

IX. LEÇON.

treuils, des cabeſtans, &c. toutes ces machines ne peuvent s'employer qu'avec des cordes, ou pour parler plus exactement, les cordes en ſont une partie eſſentielle; ſi l'on négligeoit de compter ſur leur roideur, on tomberoit infailliblement dans des erreurs conſidérables, & le mécompte ſe trouveroit principalement dans les cas où il eſt le plus important de ne ſe point tromper, je veux dire dans les grands effets: car alors les cordes ſont néceſſairement groſſes & fort tendues.

On doit donc avoir ſoin 1°. de préférer les grandes poulies aux petites, ſi la place le permet, non-ſeulement parce qu'ayant moins de tours à faire, leur axe a moins de frottement, mais encore parce que les cordes qui les entourent, & qu'elles font mouvoir, y ſouffrent une moindre courbure, & leur oppoſent par conſéquent moins de réſiſtance; cette conſidération eſt d'une ſi grande conſéquence dans la pratique, qu'en évaluant la roideur de la corde, ſelon la regle de M. Amontons*, on voit clairement que ſi l'on vouloit enlever un fardeau de

* *Mém. de l'Acad. des Scienc. 1699. pag. 227.*

300 livres avec une corde de 20 lignes de diametre, & une poulie qui n'eût que trois pouces, il faudroit augmenter la puiſſance de 212 livres pour vaincre la roideur de la corde ; au lieu qu'avec une poulie de 2 pieds de diametre, cette eſpece de réſiſtance céderoit à un effort de 22 livres, toutes choſes égales d'ailleurs.

On peut juger de-là que les poulies mouflées ne peuvent jamais avoir tout l'effet qui devroit réſulter du nombre & de la diſpoſition des leviers qu'elles repréſentent ; car dans ces ſortes de machines les cordes ont pluſieurs retours, & quoique les puiſſances qui les tendent, chargent d'autant moins les axes, que les poulies ſont plus nombreuſes, cependant, parce qu'il n'y a point de corde dont la flexibilité ſoit parfaite, en multipliant les courbures, on augmente néceſſairement la réſiſtance qui vient de leur roideur.

Cet inconvénient qui eſt commun à toutes les mouffles, eſt encore plus conſidérable dans celles où les poulies rangées les unes au-deſſus des autres, doivent être de plus en plus petites,

IX. LEÇON.

pour donner lieu à la corde de se mouvoir sans se toucher & se frotter. Car nous avons fait voir par la troisieme expérience, que la corde a plus de peine à se plier, quand elle enveloppe un cylindre d'un plus petit diametre: les poulies mouflées qui sont toutes de même grandeur, sont donc préférables dans les cas où la raison que nous venons d'exposer, n'est point combattue par d'autres plus fortes.

LES personnes qui sont dans l'habitude de tourner, soit au pied, soit à l'archet, savent, par leur propre expérience, combien il est nécessaire de proportionner la grosseur de la corde à celle de la piece qu'on fait tourner: si l'on n'a point cette attention, on ne peut jamais exécuter aucun ouvrage délicat entre deux pointes, parce que l'effort qu'il faut faire pour vaincre la roideur de la corde, porte sur la piece qu'on fait tourner; cette piece ne peut le soutenir qu'autant qu'elle est forte de matiere: & rien ne marque mieux combien une corde trop grosse a de peine à se mouvoir, que le peu de temps qu'elle met

à s'échauffer & à s'uſer, quand elle enveloppe une partie fort menue.

IX. LEÇON.

LES cordes que l'on emploie dans les machines deſtinées à faire de grands efforts, doivent être durables, parce qu'elles ne ſe font & ne ſe réparent qu'à grands frais: elles doivent être capables auſſi d'une grande réſiſtance, ſans quoi elles deviendroient inutiles, ou elles occaſionneroient des accidents fâcheux. Mais ces deux qualités ſont difficiles à concilier avec une grande flexibilité, parce qu'elles ne peuvent guere s'acquérir que par une groſſeur conſidérable, & par quelque préparation qui donne néceſſairement de la roideur. Les cables qu'on enploie dans les bâtiments, & mieux encore ceux qui ſervent dans la navigation, ſeroient d'un uſage bien plus avantageux & plus commode, ſi l'on pouvoit trouver quelque moyen de les rendre plus légers & plus flexibles, ſans leur ôter la force qui leur eſt néceſſaire, & ſans les rendre moins durables; le choix des matieres, la façon de les préparer & de les mettre en œuvre, doivent ſans doute contribuer beaucoup à cet effet; mais une

IX. LEÇON.

attention qu'on néglige un peu trop, & qu'on devroit avoir cependant, c'eſt de proportionner les cordes aux efforts qu'elles ont à ſoutenir, de les choiſir aſſez fortes pour ne point manquer ; mais de ne rien faire de ſuperflu à cet égard, parce que cette force ſurabondante ne va point ordinairement ſans une augmentation de poids, de roideur, & de frais qu'il eſt toujours utile d'épargner.

La fabrique des cordes a été preſque entiérement abandonnée juſqu'ici à des ouvriers peu intelligents pour la plûpart, qui n'y travaillent que par routine, & qui ſe contentent de répéter ſervilement ce que d'autres ont fait avant eux : cet objet cependant eſt d'une aſſez grande importance, pour mériter l'attention des Savants, & l'on ne peut être que très-ſatisfait de voir qu'il occupe quelques-uns de ceux qui refuſent leur temps à des ſpéculations ſublimes, aſſez ſouvent inutiles, pour le donner à des choſes qui tendent plus directement au bien-être de la ſociété. M. Duhamel du Monceau, pour remplir une partie des vues que les devoirs de ſa pla-

IX. LEÇON.

ce * lui ont fait naître, nous a donné un ouvrage qui contient l'Art de la Corderie, fondé sur un grand nombre d'expériences qu'on lui a vu faire dans nos Ports. Ce n'est pas seulement une histoire ou une description de ce qu'on a coutume de pratiquer dans les atteliers où l'on fabrique des cordes, mais un recueil d'instructions nouvelles & utiles qui pourront procurer à cet Art la perfection dont il a besoin.

* *Inspecteur général de la Marine.*

APRÈS avoir parlé de la roideur des cordes, & de la maniere dont on peut estimer la résistance qui en résulte dans les machines, il nous reste à dire quelque chose de leur force, & des changements dont elle sont susceptibles, lorsqu'elles deviennent alternativement seches & humides.

Les cordes qui sont le plus en usage dans la méchanique, celles dont il s'agit principalement ici, sont des assemblages de fibres que l'on tire des végétaux, comme le chanvre, ou du regne animal, comme la soie ou certains boyaux ou nerfs que l'on met en état d'être filés. Si ces fibres étoient assez longues par elles-mêmes, peut-

IX. LEÇON.

être se contenteroit-on de les mettre ensemble, de les lier en forme de faisceaux sous une enveloppe commune ; cette maniere de composer les cordes, eût peut-être paru la plus simple, & la plus propre à leur conserver cette qualité qui est la plus nécessaire, la flexibilité: mais comme toutes ces matieres n'ont qu'une longueur fort limitée, on a trouvé le moyen de les prolonger en les filant, c'est-à-dire, en les tortillant ensemble, de maniere que les unes s'unissant en partie aux autres, sont embrassées & retenues de même par celles qui suivent ; le frottement qui naît de cette sorte d'union est si considérable, qu'elles se cassent plutôt que de glisser l'une sur l'autre selon leur longueur: c'est ainsi que se forment les premiers fils dont l'assemblage fait un cordon, & de plusieurs de ces cordons réunis & tortillés ensemble on compose les plus grosses cordes.

On juge aisément que la qualité des matieres contribue beaucoup à la force des cordes ; on conçoit bien aussi qu'un plus grand nombre de cordons également gros, doit faire

une corde plus difficile à rompre, comme une plus grande quantité de fils forme un cordon d'une plus grande réſiſtance : mais quelle eſt la maniere la plus avantageuſe d'unir les fils ou les cordons ? le tortillement par lequel on a coutume de lier ces aſſemblages, donne-t-il plus de force aux cordes qu'elles n'en auroient, ſi les parties qui les compoſent étoient ſeulement réunies en forme de faiſceaux ? c'eſt ce qui ne s'apperçoit pas auſſi facilement ; ſi l'on en croyoit le préjugé, il ſemble qu'on décideroit en faveur du tortillement, parce que cette façon fait naître une union plus intime entre les parties compoſantes, & que la force du compoſé ſemble dépendre de cette union.

IX. LEÇON.

Il y a même des raiſons ſpécieuſes qui ont porté pluſieurs Savants à juger comme le vulgaire à cet égard : on ſait en général que la force d'un corps dépend de ſa ſolidité, de ſa groſſeur ; le tortillement rend une corde plus groſſe qu'elle ne le ſeroit, ſi ſes fils ou cordons n'étoient qu'aſſemblés à côté les uns des autres ; car c'eſt un fait certain, qu'en tortillant enſemble cinq ou

IX. LEÇON.

six fils, on rend cet assemblage plus court & plus gros; il semble donc que cette grosseur acquise aux dépens de la longueur devroit faire un corps plus difficile à rompre.

D'ailleurs le tortillement fait prendre aux fils une direction qui est oblique à la longueur de la corde qu'ils composent; & comme l'effort d'une corde se fait sur la longueur, il s'ensuit que la force qui la tient tendue, n'agit qu'obliquement sur les fils, & que par conséquent ils en sont plus en état de résister; car une action oblique a moins d'effet qu'un effort qui se fait directement.

Malgré ces vraisemblances, l'expérience a décidé que cette façon que l'on donne aux cordes, commode & avantageuse à d'autres égards, les affoiblit plutôt qu'elle n'augmente leur force. C'est ce qui paroît d'une maniere bien décisive, par un Mémoire fort curieux de M. de Reaumur *, où cette matiere paroît avoir été traitée pour la premiere fois, & d'où j'ai tiré les preuves que je vais rapporter.

* *Mém. de l'Académie des Sciences, 1711, p. 6.*

IV. EXPÉRIENCE. IX. LEÇON.

PRÉPARATION.

ON choisit un écheveau de fil à coudre, le plus égal qu'il est possible; on le divise en plusieurs bouts dont on éprouve la force, en y suspendant des poids connus jusqu'à ce que les fils rompent. Lorsqu'on est assuré de ce qu'ils peuvent porter séparément sans se casser, on en tortille ensemble 2, 3 ou 4, &c. pour en faire une petite corde à laquelle on suspend pareillement des poids, pour savoir combien elle est en état d'en soutenir. Voyez la *Figure* 4.

EFFETS.

LES fils tortillés, en quelque nombre que ce soit, ne portent jamais un poids qui égale la somme de ceux qu'ils portoient séparément.

EXPLICATIONS.

SI le fil de notre expérience, employé simple, a une force équivalente à 6 livres, deux de ces fils *C*, *D*, porteront sans doute la somme

IX. LEÇON.

de 12 livres; mais il faut pour cet effet, que l'effort ſoit partagé également à l'un & à l'autre, que chacun des deux n'ait à porter que la moitié de la ſomme totale, c'eſt-à-dire, 6 livres.

Pour faire mieux ſentir la néceſſité de cette condition, imaginons que les deux poids de 6 livres *E*, *F* *, ſoient joints enſemble, & de maniere que de cette ſomme de 12 livres, les deux tiers portent ſur le fil *D*, & l'autre tiers ſur *C*: le premier de ces fils caſſera d'abord, parce que, ſuivant notre ſuppoſition, il ne peut porter que 6 livres, & non pas 8. Mais auſſi-tôt qu'il ſera rompu par cet effort exceſſif, l'autre ſe rompra auſſi; parce qu'il ſe trouvera chargé ſeul de tout le poids, dont il ne pourroit porter que la moitié. Ainſi quoique chacun de ces fils puiſſe réſiſter à un effort de 6 livres, l'un & l'autre enſemble ne peuvent ſoutenir 12 livres, à moins qu'ils ne ſoient également chargés. Mais lorſque les deux fils ſont tortillés enſemble, il arrive infailliblement que l'un des deux l'eſt plus que l'autre,

* *Fig.* 4

&

& que l'effort du poids eſt inégalement partagé entr'eux ; de-là il arrive qu'ils ne peuvent jamais ſoutenir enſemble les 12 livres qu'ils auroient porté ſéparément. IX. LEÇON.

Une autre raiſon de cet effet, c'eſt qu'en tortillant ainſi les fils, on les tend ; & cette tenſion tient lieu d'une partie de l'effort qu'ils peuvent ſoutenir. Ils ne ſont donc plus en état de réſiſter autant qu'ils auroient pu faire avant que d'être tortillés.

APPLICATIONS.

LES cables & autres gros cordages qu'on emploie, ſoit ſur les vaiſſeaux, ſoit dans les bâtiments, étant toujours compoſés de pluſieurs cordons, & ceux-ci d'une certaine quantité de fils unis enſemble, comme ceux de notre derniere expérience ; il eſt évident qu'on n'en doit point attendre toute la réſiſtance dont ils ſeroient capables, s'ils ne perdoient rien de leur force par le tortillement ; & cette conſidération eſt d'autant plus importante, que de cette réſiſtance dépend ſouvent la vie d'un grand nombre d'hommes.

IX. LEÇON.

Mais si le tortillement des fils en général rend les cordes plus foibles, comme nous l'avons fait voir, on les affoiblit d'autant plus, qu'on les tord davantage ; & c'est une attention qu'on doit faire valoir, sur-tout dans les fabriques établies pour le service de la Marine, de ne tordre qu'autant qu'il est nécessaire pour lier les parties par un frottement suffisant. Il seroit bien à souhaiter qu'on eût sur cela une regle à prescrire aux ouvriers, & qu'on pût compter sur leur docilité, & sur leurs soins pour l'observer.

Lorsqu'on a quelque grand effort à faire avec plusieurs cordes en même-temps, ce qui empêche assez souvent de réussir, c'est qu'on ne les fait point tirer également ; & alors elles cassent les unes après les autres, par les raisons que nous avons dites ci-dessus, & mettent en risque ceux qui les ont employées. Le tirage égal des cordes qui concourent à un même effort, n'est pas toujours aussi facile qu'il est nécessaire à obtenir ; c'est un de ces cas assez ordinaires en mécanique, où le succès dépend pres-

que autant de l'adreſſe & de l'intelligence de celui qui opere, que des forces qu'il fait agir. IX. LEÇON.

QUANT aux changements qui peuvent arriver aux cordes, par la ſéchereſſe ou par l'humidité, ils dépendent principalement de la matiere & de la façon dont elles ſont faites : je ne m'arrêterai ici qu'aux plus remarquables, & à ceux qui ſont de quelque importance dans l'uſage des machines.

Toutes les cordes qui ſont compoſées de pluſieurs fibres, filets ou cordons que l'on a tortillés enſemble, ſe gonflent & deviennent plus groſſes lorſque l'eau les pénetre ; & au contraire à meſure qu'elles ſe ſéchent, elles diminuent un peu de groſſeur ; mais en devenant plus groſſes, elles perdent une partie de leur longueur, & elles ſe détordent un peu ; ce ſont deux faits connus depuis long-temps, & que j'ai ſouvent conſtatés par l'expérience ſuivante.

IX. LEÇON.

V. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

J'ATTACHE au plancher, ou à quelqu'autre endroit fixe, des cordes de chanvre, de boyaux, &c. aux bouts desquelles je suspends des poids *H*, *K*, *Fig.* 5, assez forts seulement pour les tenir tendues, & qui finissent en pointe au dessus & fort près de la tablette *IL*; au bout de chacune des cordes, immédiatement au dessus du poids, je place un petit index de carton, *g*, ou *h*, qui fait un angle droit avec la corde que je mouille ensuite d'un bout à l'autre, par le moyen d'une éponge, ou autrement.

EFFETS.

On remarque 1.^ment^, que les cordes s'accourcissent, parce que les poids qui les tiennent tendues, s'élevent un peu au-dessus de la tablette: 2.^ment^, qu'elles se détordent, par le mouvement de l'index qui tourne peu-à-peu de droite à gauche.

EXPLICATIONS.

IX. LEÇON.

L'eau s'introduit dans une corde, comme elle entre dans les corps poreux; elle en écarte les parties, & par cette raison la corde mouillée devient plus grosse. Mais les parties d'une corde sont des fibres qui se croisent un grand nombre de fois par le tortillement, & qui ne peuvent s'écarter l'une de l'autre, sans former un ventre, & sans que les extrémités se rapprochent: de là vient le raccourcissement de toute la corde. Les particules d'eau qui ouvrent les petits interstices qui sont entre les fibres, dilatent aussi ceux qui se trouvent entre les cordons, & cette dilatation fait que la corde devient un peu moins torse.

Ce qu'il y a de plus remarquable, c'est que ces effets ont lieu, nonobstant les poids qui tiennent les cordes tendues, & ces poids peuvent être assez considérables; c'est un des exemples qu'on peut citer pour faire voir que de très-petites forces multipliées sont capables de produire de grands efforts. Une expérience qui

IX. LEÇON.

me des tiſſus. C'eſt pourquoi les toiles neuves ſe raccourciſſent au premier blanchiſſage ; & généralement on voit toutes les étoffes ſe retirer lorſqu'on les mouille : celles qui ſont fabriquées avec deux ſortes de fils placés en différents ſens, ſe retirent inégalement, & font prendre une mauvaiſe forme aux ouvrages auxquels on les fait ſervir. Les bas & les gants tricotés ne ſe mettent & ne peuvent s'ôter qu'avec peine lorſqu'ils ſont humides ; cette difficulté ne vient que du retréciſſement cauſé par les particules d'eau qui ont gonflé les fils ; ſans cela, l'interpoſition d'un fluide ne ſerviroit qu'à les faire gliſſer plus aiſément ſur la peau.

Le moyen de raccourcir les cordes en les mouillant, pourroit être d'un grand ſecours en certains cas : on dit (& c'eſt une tradition aſſez reçue,) qu'en élevant un obéliſque à Rome ſous le Pontificat de Sixte V. l'entrepreneur ſe trouvant embarraſſé, parce que les cordes étoient un peu trop longues, quelqu'un cria : *Mouillez les cordes* ; & que cet expédient ayant été tenté, réuſſit parfaitement.

Pour

IX. LEÇON.

Pour vérifier ce fait, j'ai eu la curiosité de parcourir quelques ouvrages où l'on voit avec un grand détail, tout ce que Dominique Fontana fit par les ordres du Pape, depuis 1586 jusqu'à la fin de 1588, pour relever quatre anciens obéliſques qui étoient enſevelis ſous des ruines; ſavoir, celui du Vatican, qui fut placé devant l'Egliſe de ſaint Pierre; un autre qui avoit ſervi au mauſolée d'Auguſte, & qui fut placé devant l'Egliſe de S. Roch; deux autres enfin qui étoient du grand cirque, & dont l'un eſt aujourd'hui devant Saint Jean de Latran, & l'autre devant Sainte Marie du Peuple: dans toutes mes recherches, je n'ai pas vu un mot des cordes mouillées: je ne crois pas cependant que cette anecdote eût été omiſe dans ces deſcriptions, qui ſont, à tous égards, très-circonſtanciées: je croirois donc volontiers que le fait eſt apocryphe; mais ſa poſſibilité n'eſt conteſtée de perſonne, & on la peut conclure des expériences que nous avons rapportées ci-deſſus.

Il eſt à propos d'obſerver ici que les cordes mouillées ne peuvent vain-

IX. LEÇON.

dre de grandes réſiſtances en ſe raccourciſſant, qu'autant qu'elles ſont faites de matieres peu ſuſceptibles d'alongement par elles-mêmes, telles que ſont les fibres des végétaux ou la ſoie: ſi l'on mouille des cordes de boyaux, quoiqu'elles tendent à ſe raccourcir par les raiſons que nous avons dites, cependant on les alongeroit infailliblement en les tirant avec une certaine force, parce que les fibres qui les compoſent ſont extenſibles en toutes ſortes de ſens, & elles le ſont d'autant plus alors, que l'humidité en les pénétrant, augmente leur ſoupleſſe.

Comme l'humidité & la ſéchereſſe ont des effets ſenſibles ſur les cordes, on a tâché d'en profiter pour connoître l'état de l'atmoſphere à cet égard; ces inſtruments qu'on nomme *Hygrometres*, & à qui l'on donne tant de formes différentes, conſiſtent principalement en une corde de chanvre ou de boyaux qui marque en s'alongeant & en ſe raccourciſſant, ou bien en ſe tordant & en ſe détordant, s'il regne dans l'air plus ou moins d'humidité. Le plus ſimple de tous ſe fait

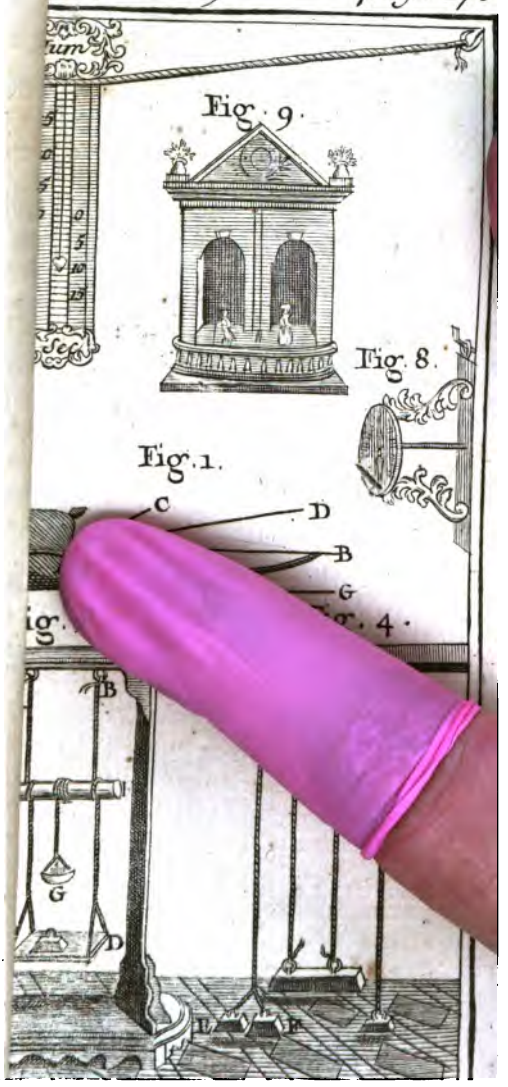


Fig. 9.
Fig. 8.
Fig. 1.
C
D
B
G
B
G
D
E
F

avec une corde de 10 ou 12 pieds que l'on tend foiblement dans une situation horizontale & dans un endroit à couvert de la pluie, quoiqu'exposé à l'air libre; on attache au milieu un fil de laiton, au bout duquel on fait pendre un petit poids qui sert d'index, & qui marque sur une échelle divisée en pouces & en lignes les degrés d'humidité en montant, & ceux de la sécheresse en descendant. *Voyez la Fig.* 7. IX. LEÇON

Assez souvent on fait des hygrometres avec un bout de corde de boyaux que l'on fixe d'un côté à quelque chose de solide, & que l'on attache par l'autre, perpendiculairement à une petite traverse qui tourne à mesure que la corde se tord ou se détord, & qui marque, comme une aiguille, sur la circonférence d'un cadran, les degrés de sécheresse & d'humidité, *Fig.* 8, ou bien on place sur les extrémités de la petite barre deux figures humaines de carton ou d'émail, dont l'une rentre & l'autre sort d'une petite maison qui a deux portiques, lorsque le sec ou l'humide fait tourner la corde; & l'on fait porter un petit parapluie à celle des deux figures que le

IX. LEÇON.

mouvement de la corde fait ſortir lorſque l'humidité augmente. *Voyez la Fig.* 9.

Les hygrometres que l'on fait de cette façon ou d'une maniere équivalente, en cachant la corde pour y mettre un air de myſtere, ne ſont bons que pour amuſer les enfants, & l'on ne doit point s'attendre qu'ils apprennent quel eſt l'état actuel de l'atmoſphere, par rapport à l'humidité & à la ſéchereſſe, parce qu'on les garde dans des appartements fermés, & que la corde, qui en eſt l'ame, eſt contenue comme dans un étui, où l'air ne ſe renouvelle que peu ou point.

Enfin le meilleur de ces inſtruments n'apprend preſque rien autre choſe; ſinon que la corde eſt mouillée, ou qu'elle eſt ſéche: car, 1°. l'humidité qui l'a une fois pénétrée n'en ſort que peu-à-peu, & ſelon l'expoſition du lieu, le calme ou le vent qui regne; & bien ſouvent il arrive que l'atmoſphere a déja perdu une grande partie de ſon humidité, avant que la corde en puiſſe donner aucun ſigne: 2°. Tout ce qu'on peut attendre d'un hygrometre à corde, c'eſt qu'il faſſe

connoître s'il y a plus ou moins d'humidité dans l'air, par comparaiſon au jour précédent ; & l'on ſait cela par tant d'autres ſignes, qu'il eſt aſſez inutile de faire une machine qui n'apprend rien de plus. Ce qu'il importeroit le plus de ſavoir, c'eſt de combien l'humidité ou la ſéchereſſe augmente ou diminue d'un temps à l'autre, & de pouvoir rendre ces ſortes d'inſtruments comparables ; ſans cet avantage, que les hygrometres à cordes n'auront probablement jamais, ils ne méritent guere qu'on les compte au nombre des inſtruments météorologiques.

IX. LEÇO

X LECON.

Sur la nature & les propriétés de l'Air.

X. LEÇON.

IL eſt peu de matieres dont la connoiſſance nous intéreſſe autant que celle de l'air : ce fluide, dans lequel nous ſommes plongés dès l'inſtant de notre naiſſance, & ſans lequel nous ne pouvons vivre, mérite ſans doute l'attention de tous les êtres penſants qui le reſpirent : ſon action continuelle ſur nos corps a beaucoup de part aux différens états qu'ils éprouvent ; nous avons ſans ceſſe quelque choſe à eſpérer ou à craindre des changemens dont il eſt ſuſceptible. C'eſt par les propriétés & par les influences de l'air, que la nature donne l'accroiſſement & la perfection à tout ce qu'elle fait naître pour nos beſoins & pour nos uſages : c'eſt par l'air qu'elle tranſporte & qu'elle diſtribue les ſources de la fécondité aux différentes parties de la

terre. L'air agité eſt, pour ainſi dire, l'ame de la navigation: par le moyen du vent, des vaiſſeaux qu'on pourroit regarder comme autant de villes flottantes, paſſent d'un bord à l'autre de l'Océan; & l'on voit tous les jours en commerce des nations qui ſembloient devoir s'ignorer perpétuellement, eu égard à la diſtance des lieux. Le ſon, la voix, la parole même ne ſont qu'un air frappé, un ſouffle modifié, qui devient le véhicule de nos penſées, & qui a le pouvoir d'exciter & de calmer les paſſions (*a*). Tant de merveilleux effets ne peuvent s'apprendre avec indifférence: l'eſprit qui eſt capable de les admirer, ne peut être inſenſible au plaiſir d'en connoître les cauſes.

X. LEÇON.

En quelqu'endroit qu'on ſe tranſporte ſur la terre, ſoit qu'on change de climat, ſoit qu'on s'éleve des lieux les plus bas à la cime des plus hautes montagnes; on ſe trouve toujours dans l'air; on ne connoît aucun lieu ni aucun temps où ce fluide ait

(*a*) *Ipſe aer nobiſcum videt, nobiſcum audit, nobiſcum ſonat; nihil enim eorum ſine eo fieri poteſt.* Cic. de Nat. Deor. lib. 2. cap. 33.

X. LEÇON

manqué : cette considération nous autorise à croire que le globe que nous habitons est entouré d'air de toutes parts : & cette espece d'enveloppe que l'on nomme communément l'*Atmosphere*, a des fonctions si marquées, elle a tant de part au méchanisme de la nature, qu'on ne peut point douter qu'elle n'ait commencé avec la terre, & qu'elle ne doive durer autant qu'elle.

En qualité d'atmosphere terrestre, l'air a des propriétés qui ne lui appartiennent plus, lorsqu'on n'en considere qu'une petite portion, & que l'on fait abstraction de tout ce qui pourroit s'y mêler d'étranger. Comme ces propriétés ne sont, pour ainsi dire, qu'accidentelles, & qu'elles ne procedent pas directement de la nature de l'air, mais plutôt de sa quantité, de la figure de sa masse, de son mélange avec d'autres corps, &c. je crois qu'il est à propos de commencer par établir celles qu'il a toujours en qualité d'air, & indépendamment des conditions dont nous venons de parler.

PREMIERE SECTION.

De l'Air conſidéré en lui-même, indépendamment de la grandeur & de la figure de ſa maſſe.

IL eſt preſqu'inutile de dire que l'air eſt une ſubſtance matérielle : ſi l'on excepte les enfants qui n'ont point encore fait uſage de leur raiſon, ou des hommes groſſiers & ſans éducation qui n'ont jamais réfléchi ſur les choſes les plus communes, il n'y a perſonne maintenant qui ne reconnoiſſe dans ce fluide les principaux attributs qui caractériſent les corps, l'étendue, la diviſibilité, la réſiſtance, &c. Tout le monde ſait qu'il peut recevoir & tranſmettre le mouvement ; & ſi l'on dit qu'un vaſe eſt vuide quand on en a répandu l'eau, c'eſt une expreſſion autoriſée par l'uſage, mais dont on reconnoît généralement la fauſſeté ou le peu de juſteſſe.

Les Auteurs anciens, comme les modernes, ont reconnu que l'air eſt une matiere. Ceux d'entr'eux qui

X. LEÇON.

l'ont qualifié d'*esprit*, ont sans doute employé ce terme dans le sens figuré, pour exprimer la subtilité de ce fluide, ou pour faire entendre combien il est nécessaire, pour la vie des animaux, & pour l'accroissement des plantes; ou s'il faut prendre cette expression littéralement, on a tort de traduire le mot latin *Spiritus* par celui d'*Esprit*: il signifie également un souffle, un air agité; & l'on doit croire qu'aucun Physicien ne l'a entendu autrement. Au reste l'autorité n'a point de force lorsqu'elle se trouve en contradiction avec l'expérience: l'usage de l'éventail fait sentir la résistance de l'air aux personnes mêmes qui cherchent le moins à s'en convaincre; & lorsque nous avons prouvé l'impénétrabilité des corps en général, les expériences que nous avons employées ont fait connoître spécialement celle de l'air.

* *Otto de Guerike Exp. per nov. Magdeb. lib. 2, c. 1 & lib. 4, c. 1. Boyle, Exp. Phys. Mech. edit. Genev. 1777, p. 69.*

Quelques Physiciens * ont pensé que l'air pourroit bien n'être autre chose qu'un mélange des particules les plus subtiles qui s'exhalent de tous les autres corps, & qui étant trop divisées pour reprendre leur première

forme, demeurent ſous celle d'un fluide particulier qu'elles compoſent; mais outre que cette opinion n'eſt appuyée ſur aucune preuve, l'air a des propriétés conſtantes, des caracteres inaltérables par leſquels il ſe fait toujours connoître, & qui ne manqueroient pas de varier ſelon les circonſtances du temps & du lieu, s'il étoit vrai qu'ils dépendiſſent de la décompoſition de pluſieurs matieres & de l'aſſemblage de tant d'extraits. Il eſt donc plus naturel de penſer que l'air eſt une eſpece de ſubſtance particuliere, dont la nature eſt fixe, que ſes parties intégrantes ſont homogenes, ou que ſes principes ſont unis de tout temps, pour ne céder à aucun des efforts que nous pourrions faire pour le décompoſer.

Graveſande, Phyſices Elem. Mat. p. 36, edit. 1742.

La fluidité de l'air eſt telle qu'on ne la voit jamais ceſſer, tant que ſes parties ſe touchent, & que leur contiguité n'eſt point interrompue par une trop grande quantité de matiere étrangere. Nous voyons communément des liqueurs ſe glacer par le froid; certains fluides comprimés ou condenſés ceſſent de couler, & ſe fixent

X. LEÇON.

sous la figure qu'on leur fait prendre ? mais dans quelque climat & dans quelque saison que ce soit, on ne voit jamais aucune partie de l'atmosphere devenir solide ; & la compression la plus forte qu'on ait jamais employée, n'a pu durcir ou fixer l'air. La fluidité est-elle donc de son essence ? est-il absolument impossible qu'il la perde ? c'est ce que l'on ne voit pas ; mais aussi ce seroit une témérité d'avancer le contraire, sans en apporter des preuves.

Cette fluidité si constante de l'air viendroit elle de la seule subtilité de ses parties, comme l'a pensé un savant Chymiste *? c'est ce que l'on ne présumera pas, si l'on fait attention que l'eau, & quelques autres liqueurs, qui cessent d'être fluides par un grand froid, passent au travers de certains corps que l'air ne peut jamais pénétrer ** ; car si la ténuité des parties étoit capable d'entretenir constamment la fluidité, où l'eau ne devroit pas se glacer plus que l'air, ou l'air, qui ne se glace jamais, devroit avoir des parties plus fines, plus pénétrantes que ne le sont celles de l'eau. Or c'est un fait constaté par

* *Boerhaave Chemia. tom. 1, pag. 320.*

** *Boyle, nov. Exper. Phys. Mech. ed. Genev. p. 108.*

M. de Reaumur *, que l'air ne paſſe point au travers du papier mouillé, & de quelques autres matieres qui ſont très-propres à filtrer l'eau ; d'où il réſulte que les parties de l'air ſont plus groſſieres ou moins ſubtiles que celles de l'eau ; à moins que la figure dans les unes ne compenſe la ténuité des autres.

* *Mém. de l'Académie des Sciences*, 1714, p. 59.

Il eſt aſſez vraiſemblable que l'air demeure conſtamment fluide, parce qu'il eſt parfaitement élaſtique : s'il n'étoit que compreſſible, ſes parties rapprochées pourroient peut-être ſe toucher d'aſſez près pour former un corps dur, & rien ne les obligeroit à ſortir de cet état, comme la neige preſſée entre les mains prend la figure & la conſiſtance d'une boule ſolide : mais le reſſort qu'elles ont, tend toujours à raréfier la maſſe qu'elles compoſent, parce que la plus forte compreſſion ne peut que le tendre & non pas le forcer ; par ce moyen ces parties conſervent cette mobilité reſpective en quoi conſiſte la fluidité.

On peut concevoir les parties intégrantes de l'air comme des petits filaments contournés en forme de ſpi-

X. LEÇON.

res flexibles & élastiques, & leur assemblage à peu-près comme un paquet de coton ou de laine cardée que l'on peut réduire en un plus petit volume lorsqu'on le presse, mais qui tend toujours à se remettre dans son premier état. Cette idée n'est qu'une esquisse bien grossiere de la nature de l'air; & j'avoue qu'il y a peut-être cent contre un à parier, que les parties de cet élément n'ont point la figure que je leur attribue; parce que pour les supposer telles, je n'ai d'autre raison que leur flexibilité & leur ressort, & qu'elles peuvent être élastiques avec cent figures différentes d'un filet spiral: aussi lorsque j'adopte cette hypothese avec la plupart des Physiciens, je ne prétends point dire ce qu'elles sont, mais seulement ce qu'elles peuvent être; & c'est moins pour prendre un parti sur leur figure que pour être en état de faire mieux connoître le ressort admirable du fluide qu'elles composent, & quelques autres propriétés dont nous parlerons ci-après.

ON dit communément que l'air est sec; mais pourquoi lui attribue-t-on

cette qualité ? est-ce parce qu'il enleve de la surface des corps l'humidité qui s'y trouve ? En effet, il arrive assez souvent qu'il fait l'office d'une éponge ; mais aussi dans plusieurs cas il rend humides les corps qu'il touche, parce que les parties aqueuses dont il est toujours plus ou moins chargé, s'attachent à certaines matieres plus facilement & plus fortement qu'à l'air même : on expose du linge à l'air pour le faire sécher ; mais le même procédé auroit un effet tout contraire à l'égard du sel de tartre ou de quelqu'autre sel ; c'est pourquoi les cordes ou les toiles qui ont trempé dans l'eau de la mer se sechent difficilement à l'air, parce que l'eau demeure opiniâtrément attachée aux particules salines qui tiennent à la superficie.

LEÇON X.

Dira-t-on que l'air est sec, parce qu'il ne mouille pas comme les liqueurs ? alors il faut convenir de ce qu'on doit entendre par le terme de *mouiller* : s'il signifie adhérer à la surface des corps solides, on doit demeurer d'accord que l'air mouille au moins un grand nombre de matie-

X. LEÇON.

res : car c'eſt un fait certain que ſi l'on verſe dans un verre quelque liqueur qui oblige l'air d'en ſortir, il demeure toujours une couche de ce fluide adhérente aux parois ; on ne l'apperçoit pas communément, parce qu'elle eſt fort mince & tranſparente ; mais elle devient ſenſible, quand on la dilate, ſoit qu'on chauffe fortement le vaſe, ſoit qu'on le mette dans le vuide : & c'eſt par cette raiſon qu'un barometre qui n'a point été rempli au feu ; c'eſt-à-dire, dont le mercure n'a point bouilli dans le tube, paroît terne, & qu'on y apperçoit une infinité de petites bulles d'air qui ſont demeurées attachées au verre. Si *mouiller* ſignifie cette impreſſion qui ſe fait ſur la peau lorſque nous touchons une liqueur, impreſſion toujours différente de celle d'un corps ſolide, parce que les parties mobiles entr'elles & très-déliées, ſe moulent dans les pores, & procurent un attouchement plus exact & plus complet ; dans ce ſens l'air mouille auſſi : & ſi nous nous en appercevons moins, c'eſt que l'impreſſion qu'il a coutume de faire ſur notre

notre peau nous eſt plus familiere : ſa façon de mouiller eſt différente, ſans doute, de celle des liqueurs, comme celles ci mouillent auſſi différemment les unes des autres ; l'eſprit-de-vin mouille autrement que l'eau, & l'eau ne mouille pas comme l'huile ; c'eſt-à-dire, que leur application ſur la peau excite des ſenſations differentes.

X. LEÇON.

DÈS que l'on ſait par un nombre infini d'obſervations familieres, que l'air eſt matériel, que ſes parties réunies forment une maſſe réſiſtante, mobile, & capable de mouvoir d'autres corps, il eſt preſque ſuperflu d'examiner s'il eſt peſant : car quoique la peſanteur ne ſoit pas un attribut eſſentiel à la matiere, & qu'on puiſſe bien la concevoir ſans cette tendance au centre de la terre ; cependant nous n'avons aucun exemple à citer qui nous autoriſe à excepter l'air de cette loi commune ; & nous devons préſumer qu'il y eſt aſſujetti comme les autres corps ſublunaires, à moins que nous n'ayons des preuves du contraire.

Mais bien loin d'avoir aucune raiſon pour attribuer à l'air une légereté

absolue, des faits sans nombre nous
X. forcent à reconnoître son poids: nous
LEÇON. en avons rapporté plusieurs en traitant de l'hydrostatique; en voici d'autres qui le prouvent directement.

I. EXPERIENCE.

PREPARATION.

LA *Figure* 1. représente une de ces pompes que l'on nomme communément, *Machines pneumatiques*: quoique ce nom, à le prendre selon son étymologie, convienne également à toutes les machines qui servent aux expériences qu'on fait sur l'air; cependant par un usage qui a prévalu, il désigne spécialement celle avec laquelle on fait le *vuide*; c'est-à-dire, avec laquelle on pompe l'air d'un vaisseau, apparemment parce qu'elle a plus de célébrité que les autres, & que par son moyen on a fait un grand nombre de curieuses & utiles découvertes en ce genre. Son premier Auteur fut Otto de Guerike, Consul ou Bourguemestre de Magdebourg, qui commença à la faire connoître à Ratisbonne l'an 1654. Quelques années

après, Boyle en fit construire une à peu-près semblable qu'il a beaucoup perfectionnée depuis. Le grand usage que fit de cette machine le Philosophe Anglois, & le succès de ses expériences, firent perdre de vue le Magistrat Allemand à qui l'on en doit l'invention, de sorte qu'à présent le principal effet de cette pompe se nomme communément *le Vuide de Boyle*. M. Homberg touché des progrès qu'avoit fait la Physique en Allemagne & en Angleterre, par le moyen de cette ingénieuse machine, & n'ignorant pas de quelle utilité elle pouvoit être entre les mains des Savants, chercha les moyens de la rendre plus exacte qu'elle n'avoit été jusqu'alors; & par ses soins, l'Académie Royale des Sciences, dont il étoit membre, en fit faire une il y a environ 60 ans, que l'on voit encore au Jardin du Roi parmi les instruments qui lui appartiennent. Enfin depuis que j'ai embrassé une profession qui me rend l'usage de cette pompe aussi fréquent que nécessaire, je me suis appliqué à la rendre telle, qu'elle pût être d'un service plus sûr, plus com-

X. LEÇON.

X. LEÇON. mode & plus étendu qu'elle n'avoit été précédemment: on pourra juger si j'ai rempli ces trois objets, en lisant dans les Mémoires de l'Académie pour les années 1740 & 1741, les changements & les augmentations que j'ai faits à cette machine, dont on trouvera l'histoire & la description, avec un détail que je ne puis me permettre ici.

Je dirai seulement, pour faciliter l'intelligence des faits que j'ai à rapporter dans la suite de cette Leçon, que la machine pneumatique dont je me sers est composée de six parties principales; savoir: 1°. d'un corps de pompe de cuivre *A*: 2°. d'un piston dont le manche est terminé en forme d'étrier *B*, pour être abaissé avec le pied, & garni d'une branche montante avec une poignée *C*, pour être relevé avec la main: 3°. d'un robinet dont on voit la clef en *D*: 4°. d'une platine couverte d'un cuir mouillé, sur lequel on pose le récipient ou la cloche de verre *E*: 5°. d'un pied *FG*, avec deux tablettes *H*, *H*, qui peuvent se hausser & se baisser à volonté: 6°. d'un rouet *IKL*, avec lequel on

peut tranſmettre un mouvement très-rapide dans un récipient, après qu'on en a pompé l'air.

Comme on ne peut pas faire le vuide d'un ſeul coup, il faut qu'on puiſſe remonter le piſton ſans faire rentrer dans le récipient l'air qu'on en a ôté, & qui a paſſé dans le corps de la pompe : pour cet effet, la clef du robinet eſt percée de façon qu'en lui faiſant faire un quart de tour, on ouvre une communication par laquelle le piſton, en ſe relevant, pouſſe l'air du dedans au dehors de la pompe, & l'on ferme en même-tems tout accès du côté du récipient : enſuite en remettant la clef dans la premiere ſituation, on eſt en état de donner un nouveau coup de piſton.

Les autres fonctions de cette machine dépendent des propriétés mêmes de l'air que je dois faire connoître ; c'eſt pourquoi je differe d'en parler juſqu'à ce que j'aye donné une idée aſſez étendue de ce fluide ſur lequel elle agit.

La *Fig.* 2 eſt un ballon de verre qui contient environ 15 pintes de Paris : le col eſt garni d'une virole de cui-

X. LEÇON.

vre, & d'un robinet qui s'ajuste à une vis qui excede de quelques lignes la platine de la machine pneumatique au centre, de sorte qu'on peut le vuider d'air, & le garder en cet état.

La *Fig.* 3 est une balance très-mobile à laquelle on met en équilibre le ballon vuide; & pour conserver au fléau une plus grande mobilité par la diminution des frottements de son axe, , on peut peser le ballon dans l'eau, ce qu'il est aisé de faire en y attachant des poids qui l'obligent à le plonger entiérement: alors la balance n'est chargée que de la pesanteur respective du ballon plongé, qui peut être diminuée autant que l'on veut, & du poids que l'on met de l'autre part pour le tenir en équilibre, comme nous l'avons fait voir dans la VIIIe. Leçon, par les expériences qui prouvent la seconde proposition.

EFFETS.

Lorsqu'on ouvre le robinet du ballon suspendu pour y laisser rentrer l'air, & qu'on le referme ensuite pour le laisser se plonger sans que l'eau y puisse entrer, il se trouve toujours

plus pesant que le poids de l'autre part avec lequel il étoit d'abord en équilibre.

EXPLICATIONS.

Cette expérience est la plus simple & la plus décisive de toutes celles qu'on employe pour prouver que l'air a une pesanteur absolue ; car on sait que dans l'usage de la balance ordinaire, un poids ne peut être enlevé que par un plus grand poids ; puisque le ballon devient plus pesant dès qu'il s'emplit d'air, c'est une marque certaine que cette augmentation vient du fluide qu'il a reçu.

On dira peut-être que le ballon, en se rempliſſant, ne reçoit point ce nouveau poids de l'air même qui y rentre, mais plutôt des corps étrangers, & des vapeurs aqueuses dont il est toujours chargé, & qui s'introduisent avec lui.

Quoique cette objection, au premier coup d'œil, ait tout l'air d'une mauvaise difficulté, & qu'elle n'ait arrêté presque personne de ceux qui ont fait ou connu cette expérience avant moi, je ne puis cependant dis-

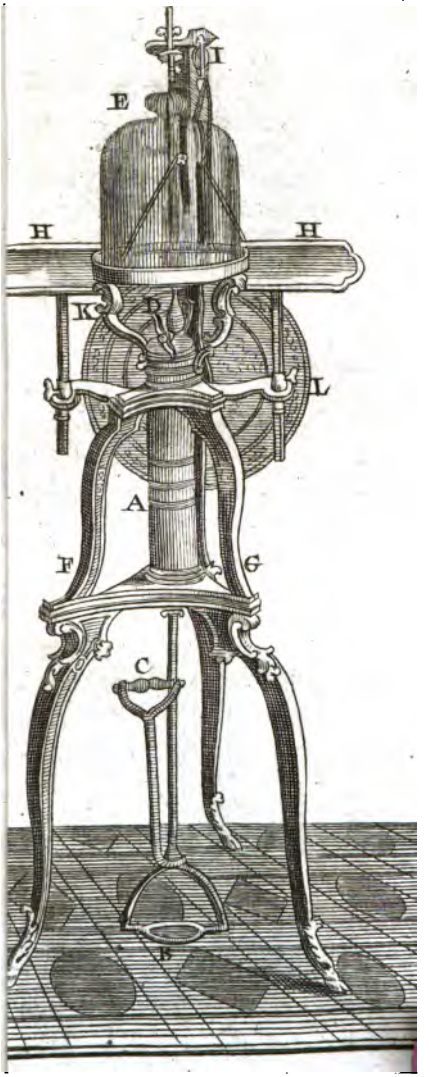
X. LEÇON.

ſimuler qu'elle m'a paru forte, ſurtout lorſque j'ai vu, par des épreuves faites en différents temps, qu'un volume d'air de 2 ou 3 pintes pris au hazard dans l'atmoſphere, contenoit toujours aſſez d'eau pour rendre une once de ſel de tartre ſenſiblement humide & plus peſante; car ſi l'on joint au poids de cette eau celui des autres matieres qui ſont infailliblement répandues avec elle dans le même volume d'air, & que le ſel de tartre n'a point abſorbées, on pourroit être tenté de croire que de toute la peſanteur du fluide mixte, il n'y a rien qui appartienne aux parties propres de l'air.

Cette conſidération a fait dire à M. Boerhaave * que l'air, de même que le feu, pourroit bien ne peſer vers aucun point déterminé de l'Univers: je ne me ſuis point arrêté à cette conjecture; & bien loin de céder à la difficulté, je me ſuis mis en état de la combattre par le procédé que voici.

* *Chemiæ* 1, *p.* 267.

Je ſuſpends le ballon plein d'air à la balance, & je le tiens en équilibre dans l'eau avec un poids connu: enſuite


I
E
H
H
K
L
A
F
G
C
B

suite, sans le changer de situation, j'applique au robinet un siphon qui répond à la machine pneumatique pour y faire le vuide ; à mesure que je raréfie l'air, je vois tomber au fond du ballon les vapeurs dont il est chargé, & qui ne sont point de nature à se raréfier comme lui & à le suivre ; de cette maniere je fais rester dans le ballon (au moins pour la plus grande partie) ces corps étrangers à qui l'on pourroit soupçonner qu'il doit tout son poids, & je suis comme certain que ce qui sort du vaisseau est de l'air pur ; cependant lorsque j'ai fermé le robinet, & que j'essaye de remettre le ballon vuide en équilibre avec le premier poids, je le trouve, à peu de chose près, d'autant plus léger, qu'il étoit plus pesant dans la premiere expérience : d'où il suit inconteſtablement que l'air par lui-même & indépendamment des vapeurs & des exhalaisons avec lesquelles il se trouve mêlé, augmente le poids d'un vaisseau qu'il remplit.

X. Leçon

APPLICATIONS.

PAR le moyen des expériences que

X. LEÇON.

je viens de rapporter, non-seulement on peut s'assurer de la pesanteur absolue de l'air ; mais on peut connoître aussi quelle est sa pesanteur spécifique, en comparant un volume d'air connu dont on sait le poids, avec un pareil volume d'une autre matiere que l'on pese séparément : un exemple rendra ceci plus intelligible.

Après avoir mis mon ballon plein d'air & plongé dans l'eau en équilibre au bras de la balance, si je le rends plus léger en pompant la plus grande partie de l'air qu'il contient, le poids que j'ajoute ensuite de son côté pour rétablir l'équilibre, est justement celui de l'air qui est sorti. Je renverse aussi-tôt le ballon dans l'eau, de maniere que l'orifice regarde le fond du vaisseau, & j'ouvre le robinet ; alors le poids de l'atmosphere pousse dans le ballon un volume d'eau qui égale celui de l'air qu'on a ôté : je ferme le robinet ; je remets le ballon dans sa premiere situation, je charge le bassin de la balance, jusqu'à ce que tout soit en équilibre ; le poids que je suis obligé d'y mettre, est celui du volume d'eau qui est entré

dans le ballon : ainſi en comparant les deux poids, je vois le rapport qu'il y a entre deux volumes égaux d'air & d'eau. En procédant ainſi, M. Hauxbée a trouvé que la peſanteur ſpécifique de l'air eſt à celle de l'eau, à peu-près comme 1 eſt à 885.

X. LEÇON.

Au récit de ces expériences, on croiroit volontiers qu'il n'y a rien de plus facile à faire que cette comparaiſon du poids de l'air à celui d'un autre fluide par le moyen de la balance : cependant on n'en vient à bout qu'avec beaucoup de ſoins ; & quelques précautions que l'on prenne, il reſte toujours de l'incertitude dans le réſultat.

La difficulté vient, 1°. de ce que tous les fluides, & généralement tous les corps ſe dilatent par la chaleur, & ſe condenſent par le froid, de ſorte que l'air & l'eau que l'on compare dans le mois de Juin n'ont pas la même denſité qu'au mois de Janvier ; cet inconvénient ne ſeroit pas d'une ſi grande conſéquence, ſi ces matieres, en ſe dilatant ou en ſe condenſant, gardoient toujours entr'elles le même rapport ; mais il s'en faut bien

X. LEÇON.

que cela ſoit, & ce n'eſt point une petite affaire que de bien connoître les variations qu'elles éprouvent ſelon leurs différentes températures.

2°. Comme il n'y a point d'air parfaitement pur, auſſi n'y a-t-il point d'eau qui ne contienne quelque choſe d'étranger; & quoi qu'en diſent quelques Auteurs, il y a bien des eaux, qui, au même degré de chaud & de froid, différent ſenſiblement de peſanteur entr'elles. Or s'il eſt néceſſaire de ſavoir quelle eau ou quel air on a peſé, pour conclure avec préciſion le rapport de l'une à l'autre, on ne peut donc prononcer en général qu'un à peu-près.

3°. Les variations du barometre nous apprennent que la preſſion de l'atmoſphere n'eſt pas toujours la même; & nous verrons bien-tôt que l'air change de denſité ſelon qu'il eſt plus ou moins comprimé. Il peut donc arriver que le volume d'air meſuré par la capacité du ballon, ſoit plus peſant dans un temps que dans un autre; c'eſt pourquoi M. Hauxbée, dans le récit de ſon expérience, n'a omis ni la hauteur actuelle du mer-

cure dans le barometre (*a*), ni la saiſon dans laquelle il a opéré ; au lieu de citer ſeulement le mois (*b*), il auroit ſans doute déſigné la température par le dégré du thermometre, s'il y en avoit eu alors de comparables comme à préſent. X. LEÇON.

4°. Pour comparer exactement le poids de l'air avec celui de l'eau, il faut qu'en plongeant l'orifice du ballon où l'on a fait le vuide, il y rentre juſtement autant d'eau qu'il en eſt ſorti d'air, ſans quoi ce ne ſeroit plus comparer enſemble deux volumes égaux. Mais on ſait que quand une liqueur ſe trouve dans le vuide, l'air qu'elle contient s'en dégage, & s'éleve au-deſſus : c'eſt le cas où ſe trouve l'eau qui commence à monter dans le ballon ; elle blanchit par la quantité des bulles d'air qui s'en échappent ; & cet air occupant la partie ſupérieure du vaiſſeau, empêche qu'il ne reçoive autant d'eau qu'il devroit y en entrer, eu égard au vuide qu'on y avoit fait. Il faudroit donc avoir

(*a*) 29 p. $\frac{7}{12}$, meſure d'Angleterre, c'eſt-à-dire, un peu moins que 28 pouces de France.

(*b*) Mai.

X. LEÇON.

bien purgé d'air l'eau dont on veut ſe ſervir dans cette expérience ; & c'eſt ce qu'il ne paroît pas qu'on ait fait juſqu'à préſent ; d'où il ſuit que l'on a conclu la peſanteur ſpécifique de l'air un peu plus petite qu'elle n'eſt en effet.

On ne doit donc pas être ſurpris de trouver ſi peu d'accord entre les Auteurs qui ont tenté ces ſortes d'expériences, ſur-tout dans des temps où les procédés étoient d'autant plus difficiles, qu'on étoit moins inſtruit des faits, & qu'on n'avoit pas les moyens dont on peut s'aider maintenant. Galilée établit le rapport de l'air à l'eau comme 1 à 400 ; le Pere Merſene comme 1 à 1346 : quelle différence ! De tous les Phyſiciens qui ont cherché depuis à réſoudre cette queſtion, perſonne n'a trouvé l'air auſſi peſant qu'il le ſeroit ſuivant le premier de ces réſultats, ni auſſi léger, qu'il paroît l'être par le dernier (*a*) : & ſi l'on prend un milieu entr'eux,

(*a*) Boyle dans ſes Expér. Phyſicoméch. conclut que l'eau commune eſt 938 fois plus peſante que l'air ; & dans d'autres endroits, il varie ſur cette eſtimation. M. Homberg,

il paroît assez constant que l'eau de pluie est environ 900 fois plus pesante que l'air, l'un & l'autre étant pris dans une température moyenne, comme de 12 degrés au-dessus du terme de la glace, le barometre étant à 28 pouces.

Comme les volumes sont en raison réciproque des pesanteurs spécifiques, il faudroit donc un volume d'air d'une densité uniforme & égal à 900 pieds cubes, pour faire équilibre à un pied cube d'eau qui pese environ 70 livres; d'où il suit que la pesanteur absolue d'un pied cube d'air, est à peu-près une once & deux gros (*a*).

La pesanteur de l'air étant une fois connue, on ne doit plus être surpris de sentir la main s'attacher sur un petit récipient ouvert par le haut, lorsqu'on y fait le vuide par le moyen de la machine pneumatique: car tant

comme il paroît par l'Hist. de l'Ac. des Sciences, après avoir aussi changé plusieurs fois d'avis, a donné le rapport de l'air à l'eau, comme 1 à 1087; M. Halley, comme 1 à 860; M. Hauxbée, comme 1 à 885; M. Muschenbroek, comme 1 à 681.

(*a*) Wolf. Elem. Aërom. p. 741, dit qu'un pied cube d'air pese 1 once 27 grains.

X. LEÇON

que le vaſe eſt plein d'un air auſſi denſe que celui de l'atmoſphere, la main ſe trouve appuyée non-ſeulement ſur les bords, mais encore ſur la maſſe du fluide qui eſt renfermé, & qui réſiſte à la preſſion extérieure ; mais quand on a fait le vuide, la main, toujours preſſée par l'air du dehors, ne ſe trouve plus ſoutenue que par les bords du récipient ; & pour l'en ſéparer, il faudroit faire de bas en haut un effort capable de ſoulever la colonne d'air qui peſe deſſus. Or le poids de cette colonne égale celui d'un cylindre de mercure qui auroit pour baſe le plan qui eſt terminé par les bords du récipient, & 27 à 28 pouces de hauteur, comme on l'a vû par la fameuſe expérience de Toricelli *. Il ſuit de-là que cette preſſion eſt d'autant plus grande & plus ſenſible, que le récipient a plus d'ouverture par en haut ; c'eſt pourquoi la main y tient bien davantage que le bout du doigt, lorſqu'on le poſe ſur le trou même qui eſt au centre de la platine ; & par la même raiſon, une clef forée que l'on ſuce, & qui s'attache enſuite à la langue ou à la levre, s'en

* 7. Leçon, p. 275.

détache d'autant plus difficilement que le tuyau eſt plus gros.

Quand on fait ainſi le vuide ſous la main, ou ſous quelqu'autre partie du corps, on doit avoir ſoin que les bords du récipient ne ſoient pas trop aigus; car ils pourroient bien entamer la peau: on peut en faire l'épreuve avec la moitié d'une pomme ou avec une tranche de navet; au premier coup de piſton, il arrive preſque toujours qu'il s'en détache un cercle qui entre dans le vaſe avec impétuoſité & avec bruit. LE

Cette adhérence que l'on peut faire naître par la preſſion de l'air extérieur, pourroit être employée fort utilement dans la Chirurgie: je ne parle point de la ventouſe qui eſt ſi connue, & dont l'uſage eſt maintenant aſſez négligé en France; mais n'y auroit-il pas des occaſions où l'on auroit beſoin de ſaiſir, pour un peu de temps, une partie délicate, qui, par ſa figure, par ſon volume, ou par ſa molleſſe, ne donne point de priſe aux tenettes & autres inſtruments? Une petite pompe dont l'orifice formé en pavillon, pourroit être de telles dimen-

sions, & garni de telle maniere qu'on le jugeroit à propos pour l'opération, deviendroit un moyen sûr & avantageux entre les mains d'un homme intelligent ; c'est aux gens de l'Art à juger de l'application qu'on en pourroit faire.

X. LEÇON.

Il semble d'abord que cette pression extérieure de l'air, qui vient de son poids, devroit écraser les cloches de verre, dont on couvre la platine de la machine pneumatique pour faire le vuide ; mais pour peu qu'on y fasse attention, on verra que ces vaisseaux, étant toujours uniformément arrondis en forme de cylindre ou de voûte, sont à l'abri de cet accident : comme la surface extérieure est nécessairement plus grande que celle du dedans, toutes les parties qui composent l'épaisseur, ressemblent à celles dont on fait les cintres ; ce sont autant de coins ou de pyramides tronquées, qui se soutiennent mutuellement, à mesure qu'elles sont pressées vers un axe ou un centre commun, par l'action d'un fluide qui pese en tout sens. On peut voir par la *Fig.* 4. l'épaisseur d'un récipient coupé se-

lon ſon axe, & par la *Fig.* 5, le même vaiſſeau coupé parallelement à ſa baſe. L.E.

Ce qui prouve bien que la forme arrondie défend les vaiſſeaux contre le poids de l'air, lorſqu'ils en ſont vuides, c'eſt qu'ils ſe caſſent infailliblement, quand ils ont une autre figure. Que l'on applique à la machine pneumatique celui qui eſt repréſenté par la *Fig.* 6, il eſt ouvert de part & d'autre, comme le petit récipient ſur lequel on applique la main : mais au lieu de le boucher ainſi, on étend & on lie deſſus un morceau de veſſie mouillée qui lui ſert de fond, & qu'on laiſſe ſécher; à meſure qu'on fait agir la pompe deſſous pour le vuider, le poids de l'air extérieur fait prendre à cette veſſie tendue la forme d'une calotte renverſée, & enfin elle creve avec éclat. Un morceau de verre de vitre, ou de glace de miroir, que l'on poſeroit en la place de cette veſſie, ſe briſeroit de même, s'il étoit exactement appliqué ſur les bords du vaiſſeau, par le moyen d'un cuir interpoſé, ou autrement. Les bouteilles de verre mince qui ſont fort appla-

X. LEÇON.

ties, & ordinairement couvertes d'oſier, crevent aſſez ſouvent, quand on les porte à la bouche à demi-pleines de liqueur, pour boire à même; car la ſuccion raréfie l'air intérieur, & le poids de l'atmoſphere agiſſant ſur les deux côtés plats, les porte l'un vers l'autre, & briſe le vaiſſeau.

Ces ſortes d'épreuves, & ſur-tout celle de la veſſie, cauſent toujours quelque étonnement aux perſonnes qui les voyent pour la premiere fois, par le grand bruit qui les accompagne. Cet effet vient de ce que l'air entre avec une grande viteſſe (*a*) & tout à la fois en grand volume, dans un vaiſſeau vuide dont il frappe les parois: car le bruit vient primitivement du choc des corps, comme nous le ferons voir par la ſuite; & les fluides ſont très-capables de heurter les ſolides.

On remarque quelque choſe de ſemblable, lorſqu'on tire bruſquement le couvercle d'un étui à cure-

(*a*) Selon M. Papin, l'air de l'atmoſphere en rentrant dans le vuide, va avec une viteſſe qui lui feroit parcourir 1305 pieds dans une ſeconde. *Abrég. de Lowthorp, T. 1, p. 586.*

dents, d'une écritoire de poche, ou le piſton hors d'une ſeringue qui eſt bouchée par l'autre bout; c'eſt qu'alors on fait une ſorte de vuide que l'air du dehors ſe hâte de remplir, dès que l'accès lui eſt libre: car pendant qu'on ouvre l'étui, la capacité *AB*, *Fig.* 7, s'augmente de la quantité *BC*, & l'air intérieur en devient d'autant plus rare, puiſqu'au lieu d'être contenu entre *AB*, comme il l'étoit dans ſont état naturel, il s'étend juſques en *C*: mais ceci s'entendra encore mieux, quand nous aurons expliqué de quelle maniere l'air ſe raréfie, lorſqu'on fait uſage de la machine pneumatique. X. LEÇO

LA denſité de l'air, d'où dépend ſa peſanteur ſpécifique, n'eſt point conſtante; elle varie beaucoup, non-ſeulement par le froid & par le chaud, comme il arrive à toutes les autres matieres, mais auſſi par une compreſſion plus ou moins grande à la maniere des corps à reſſort. Je dis à la maniere des corps à reſſort, parce que pendant tout le temps que l'air eſt comprimé, il conſerve conſtamment la faculté de s'étendre & d'occuper

X. LEÇON. un plus grand espace, aussi-tôt que l'on fait cesser les causes qui resserrent son volume, comme le crin, la laine, le duvet de plume, &c. avec cette différence cependant, que toutes ces matieres perdent leur élasticité en tout ou en partie, quand elles sont trop fortement ou trop longtemps comprimées, au lieu que l'air se rétablit toujours parfaitement; au moins peut-on dire qu'il n'y a jusqu'à présent aucun fait connu qui prouve le contraire (*a*).

L'air se comprime lui-même par son propre poids, de sorte que celui que nous respirons dans la plaine, est plus dense que celui qu'on trouve sur une montagne; parce que celui-ci est chargé d'une colonne moins longue que celui-là.

Mais de quelque maniere que l'air soit comprimé, son ressort fait toujours équilibre à la puissance qui restreint son volume, de maniere que

(*a*) M. de Roberval a gardé pendant 11 ans de l'air comprimé dans une canne à vent; & après cet espace de temps, l'air a montré dit-il, autant de force qu'il a coutume d'en avoir en pareil cas.

si sa réaction devient libre, il pourra faire, en qualité de fluide élastique, tout ce qu'auroit pu faire la force qu'on a employée pour le comprimer : les expériences suivantes serviront d'éclaircissement & de preuves à ces propositions.

II. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

EFG, *Fig.* 8, est un tuyau de verre recourbé en forme de siphon, dont la plus longue branche a environ 3 pieds de longueur, & la plus courte 12 pouces, à compter de *d* en *G* : ce tuyau peut avoir intérieurement 3 ou 4 lignes de diametre, & la partie *dG* doit être parfaitement cylindrique ; il est ouvert en *E*, & fermé en *G* ; & il est attaché solidement sur une planche assez épaisse pour ne point plier facilement, & divisée en pouces de *d* en *E*, & de *d* en *G*. Cet instrument étant debout, on y fait couler un peu de mercure, de maniere que le coude en soit rempli : on continue ensuite de verser du mercure dans la branche la plus longue ; & à

X. LEÇON.

mesure qu'elle s'emplit, on observe, par les divisions qui sont marquées de part & d'autre, quels rapports gardent entr'elles les élévations du mercure dans les deux branches.

EFFETS.

Lorsque le mercure est élevé de 4 pouces au-dessus du point *d* dans la plus courte branche, à compter du niveau de cette élévation, il s'en trouve 14 pouces dans la plus longue.

En continuant de verser du mercure, on remarque que 6 pouces d'élévation vers *G*, répondent à 28 pouces de l'autre part; & 7 pouces à 84.

EXPLICATIONS.

Avant que de faire couler du mercure dans l'instrument, toute sa capacité est remplie d'un air qui est comprimé par le poids même de l'atmosphere : en mettant du mercure dans le coude *d*, on divise cet air en deux colonnes, dont une *E d*, souffre toujours la même compression de la part de l'air extérieur, avec qui elle communique;

munique ; & l'autre *d G* doit être considérée comme un ressort précédemment tendu par le poids de l'atmosphere : tant que le mercure est en équilibre avec lui-même dans la ligne *d h*, cette petite colonne d'air faisant aussi équilibre par son ressort à l'autre, qui pese en *d*, son volume ne doit ni augmenter ni diminuer ; mais lorsqu'on ajoute du mercure dans la plus longue branche, il ne s'éleve pas également dans la plus courte, parce que l'air qui s'y trouve renfermé, lui fait obstacle. Cette opposition cependant n'empêche pas qu'il ne soit restreint dans un plus petit espace, parce qu'alors il est pressé, non-seulement par le poids de l'atmosphere, comme auparavant, mais encore par une colonne de mercure dont la hauteur ne doit se compter que du niveau de son élévation dans la plus courte branche, puisque ce qu'il y en a au-dessous de cette ligne est égal de part & d'autre.

X. LEÇON.

On doit se souvenir qu'en parlant du barometre *, nous avons observé qu'une colonne de mercure d'environ 28 pouces de hauteur, pese au-

* *Tom. II, VII. Leçon, p. 295 & suivantes.*

X. LEÇON. tant qu'une colonne d'air de même base, & de la hauteur de l'atmosphère: 14 pouces de mercure ajoutés au poids de l'air extérieur augmentent donc d'un tiers la pression qu'il exerce contre celui qui est entre *G d*; voilà pourquoi le volume de cette portion d'air se condense, & que ce cylindre, au lieu de demeurer long d'un pied, diminue de 4 pouces, qui sont le tiers de sa première longueur.

Par la même raison, lorsque la colonne de mercure est de 28 pouces au-dessus de son niveau, le poids de l'atmosphere est doublé, & l'air qui soutient cette double compression, ne forme plus qu'un cylindre de six pouces de hauteur; c'est-à-dire, que son volume diminue de moitié.

Enfin 84 pouces de mercure sont trois colonnes l'une sur l'autre de 28 pouces chacune, dont la somme égale trois fois le poids de l'atmosphere, & qui doivent par conséquent faire perdre les trois quarts de son volume à la colonne d'air *d G* qu'elles compriment; ainsi cette colonne de 12 pouces se réduit à trois.

X. LEÇON.

Cette expérience que l'on doit à Boyle * & à M. Mariotte **, prouve fort bien, comme on voit, que l'air comprimé diminue de volume comme la preſſion augmente: & puiſque la denſité d'une matiere croît à meſure que ſes parties ſe rapprochent & qu'elles occupent enſemble un moindre eſpace, on peut dire que l'air ſe condenſe, en raiſon directe des poids dont il eſt chargé. Cependant il eſt aſſez raiſonnable * de croire que cette proportion n'a pas lieu dans les degrés extrêmes, ou bien il faudroit ſuppoſer gratuitement, que l'air eût à cet égard un privilege excluſif; car nous ne connoiſſons aucun corps élaſtique qui puiſſe être comprimé à l'infini, & toujours proportionnellement aux puiſſances dont il éprouve l'action. D'ailleurs comme l'air n'eſt jamais pur, & que les matieres dont il eſt chargé, ne ſont pas compreſſibles comme lui, on doit croire, qu'après une compreſſion très-grande, ſes parties ceſſeroient d'être flexibles, parce qu'elles ſeroient appuyées ſur des corps étrangers, dont la nature eſt de ne céder à aucune force connue.

* *Contra Linum*, p. 42.

** *Oeuvres de M. Mariotte*, in-4, T. I, p. 153.

* *Hiſt. de l'Ac.* 1702, p. 2.

X. LEÇON.

Pour faire avec exactitude l'expérience que je viens de rapporter, il faut, 1°. Que les deux branches de l'instrument soient paralleles entr'elles ; & les tenir dans une situation bien verticale pendant qu'on observe les élévations du mercure ; car comme les liquides pesent en raison de leur hauteur perpendiculaire à l'horizon, si ces branches étoient penchées, la pression ne seroit pas comme la longueur des colonnes qu'elles renferment. 2°. Il faut prendre garde d'échauffer ou de refroidir le volume d'air contenu dans la branche *d G* ; car il changeroit de dimensions, indépendamment de la pression qu'il souffre de la part du mercure, & de l'air extérieur. 3°. On doit avoir soin que la branche courte soit intérieurement bien cylindrique ; car autrement des parties égales mesurées sur sa longueur, ne donneroient pas des capacités semblables, & l'on ne pourroit pas conclure avec justesse, le degré de condensation de l'air par le raccourcissement de la colonne, qu'il représente à mesure que la compression augmente.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

II, Fig. 9, repréſente un ſeau rempli d'eau, dont on obſerve la température par le moyen d'un thermometre qu'on y plonge ; on aſſujettit dans ce premier vaiſſeau, avec un poids ou autrement, une bouteille dont l'orifice *LL* eſt fort large : on prépare enſuite un bouchon de liege que l'on perce au milieu pour recevoir le tube du barometre *K M*, & l'on place l'un & l'autre de façon que la partie inférieure du barometre ſoit dans la bouteille ; après quoi l'on verſe ſur le bouchon de la cire fondue & mêlée de térébenthine, pour empêcher qu'il n'y ait aucune communication entre l'air du dedans & celui du dehors ; mais de peur que la chaleur de la cire n'échauffe l'air intérieur, & n'en change la denſité, il faut pratiquer au travers du bouchon & de ſon enduit, un petit canal que l'on ne ferme que quand tout eſt bien refroidi : alors on marque avec un index à quelle hauteur le mercure ſe tient dans le barometre.

X. LEÇON.

EFFETS.

Non-seulement le mercure ne hausse ni ne baisse au moment qu'il est renfermé : mais quoique par la suite il fasse appercevoir ces sortes de variations suivant la température du lieu où il est, toutes les fois qu'on le rappelle au degré de chaud ou de froid qu'il avoit dans le vaisseau *I I'*, où s'est faite la préparation, le mercure se remet à la hauteur indiquée par l'index ; & cet effet est toujours le même après plusieurs années.

EXPLICATIONS.

Un instant avant qu'on ferme la bouteille, l'air qu'elle contient communiquant avec celui du dehors, fait encore partie de l'atmosphere, en soutient la pression, & la transmet en s'appuyant contre les parois intérieures du vaisseau, & contre tout ce qui s'y trouve renfermé ; cet air agit alors comme pesant sur le réservoir du barometre, & soutient le mercure à 28 pouces. Aussi-tôt que la bouteille est bouchée, cette même masse d'air n'a plus que son propre poids, qui est

bien peu de chose en comparaison de celui de l'atmosphere, à qui elle étoit jointe précédemment ; mais elle reste LE comprimée selon toute la force de ce poids dont elle n'est plus chargée, & sa réaction est égale à cette force ; c'est pourquoi elle soutient, en qualité de corps à ressort, les 28 pouces de mercure qu'elle portoit, lorsqu'elle pesoit avec l'air extérieur.

Il suit de cette épreuve que non-seulement le ressort de l'air est égal à la force qui l'a comprimé ; mais on voit aussi que cette élasticité ne s'affaiblit pas, comme celle des autres corps, par succession de temps, puisque le mercure se soutient, ou revient toujours au même degré d'élévation, quoique pendant plusieurs années on tienne la même masse d'air en expérience.

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

LA *Fig.* 10 représente deux hémispheres concaves de cuivre, & de 6 pouces de diametre, dont l'un est garni d'un robinet, par lequel il peut

X. LEÇON.

s'ajuſter à la machine pneumatique : & l'autre porte un anneau au milieu de ſa convexité, pour être facilement ſuſpendu. Ces deux calottes ſe joignent en forme de globe ; & pour rendre la jonction plus facile & plus exacte, l'une des deux a ſes bords garnis d'un anneau plat dont la largeur excede autant en dedans qu'en dehors ; on le couvre d'un cuir mouillé ſur lequel s'appliquent les bords de l'autre hémiſphere, qu'on a eu ſoin de bien dreſſer.

Tout étant ainſi diſpoſé, on fait le vuide dans cette boule creuſe, & l'on ferme le robinet pour la tenir en cet état ; lorſqu'elle eſt détachée de la machine pneumatique, on joint au robinet un crochet de métal capable de porter un poids de 60 livres, & l'on attache l'anneau à quelque point fixe.

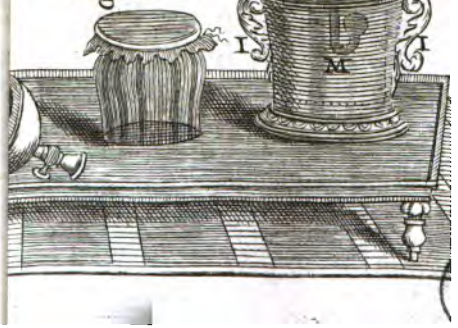
EFFETS.

Quand ces deux hémiſpheres ainſi joints ſont ſuſpendus, comme on les peut voir par la *Fig.* 11, le poids de 60 livres qu'on y attache, n'eſt pas capable de les ſéparer l'un de l'autre ; &

Fig. 5.

Fig. 9.

Fig. 6.



& quand on ouvre le robinet pour laiſſer rentrer l'air, la moindre force les déſunit.

X. LEÇON.

V. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

QUAND les deux hémiſpheres ſont attachés enſemble par l'évacuation de l'air, au lieu de les ôter de la machine pneumatique, il faut ſeulement déviſſer deux ou trois tours le robinet par lequel ils ſont appliqués à la pompe, afin qu'on puiſſe faire le vuide dans un récipient dont on le couvrira. Ce vaiſſeau doit être ouvert par le haut, & garni d'une boîte de cuivre rempli de cuirs gras preſſés les uns ſur les autres, au travers deſquels on fait paſſer une tige de métal bien arrondie & bien cylindrique. Cette tige porte d'un côté un anneau par lequel on la peut faire mouvoir de bas en haut & en tournant; & à ſon autre bout on ajuſte un crochet qui s'engage dans l'anneau de la calotte ſupérieure, comme il eſt repréſenté par la *Fig.* 12.

Par le moyen de cette boîte, à

X. LEÇON.

cuirs, lorsqu'elle est bien faite, on peut transmettre toutes sortes de mouvemens dans le vuide, sans que l'air y entre, au moins d'une quantité sensible. Il est inutile de dire, qu'au lieu du crochet dont on se sert dans cette expérience, on peut ajuster au bout de la tige tout autre instrument dont on aura besoin selon les circonstances.

EFFETS.

Quand on a raréfié l'air du récipient à un certain degré, & que l'on tire la tige de la boîte à cuirs, de bas en haut, les deux hémispheres se séparent sans peine; & si l'on remet en place celui qu'on a soulevé, en faisant rentrer l'air dans le récipient, on les attache aussi fortement qu'ils l'étoient avant qu'on les plaçât dans le vuide.

EXPLICATIONS.

Les deux hémispheres ne s'attachent point ensemble tant que l'air qui s'y trouve renfermé demeure dans son état naturel, c'est-à-dire, aussi dense que celui du dehors, parce

que l'effort qu'il fait pour s'étendre & pour écarter ces deux calottes qui lui font obſtacle, eſt préciſément égal à celui de l'atmoſphere qui les preſſe extérieurement ; chacune d'elles ſe trouve en équilibre entre deux puiſſances de même valeur.

X. LEÇO

Mais quand cet air intérieur ſe trouve raréfié par l'action de la pompe, la force de ſon reſſort en eſt d'autant affoiblie ; l'équilibre eſt rompu, & l'adhérence des deux hémiſpheres eſt proportionnelle à la différence qu'il y a entre la denſité de l'air qui preſſe extérieurement, & celle de l'air qui réſiſte en dedans ; deſorte que ſi celui-ci pouvoit être réduit à zéro, il faudroit employer, pour ſéparer ces deux pieces, un effort un peu plus grand que le poids d'une colonne entiere de l'atmoſphere, dont la baſe auroit ſix pouces de diametre, ce qui ſeroit plus de 400 livres ; en ſuppoſant ſeulement, ſelon l'évaluation commune, qu'une colonne de l'atmoſphere fait une preſſion de 12 livres ſur un eſpace circulaire d'un pouce de diametre.

Lorſqu'on a placé la boule vuide

X. LEÇON.

sous un récipient qui lui ôte toute communication avec l'atmosphere, ce n'est plus, à la vérité, le poids de cet atmosphere qui retient les deux hémisphères l'un contre l'autre ; mais c'est la réaction d'une masse d'air comprimé précédemment par ce poids, & qui est capable des mêmes effets : c'est pourquoi ces deux pieces ne se séparent facilement, que quand on a détendu le ressort de l'air environnant, en diminuant sa densité par plusieurs coups de piston, jusqu'à ce qu'il soit autant raréfié que celui qui reste dans la boule.

Si l'air, en rentrant dans le récipient, trouve les deux hémisphères rejoints de maniere qu'il ne puisse pas s'y introduire & s'y étendre comme dans le reste du vaisseau, il les presse de nouveau l'un contre l'autre, par la même raison qu'ils avoient été d'abord attachés, & avec autant de force, s'il y a la même différence entre les deux airs, celui du dehors & celui du dedans.

APPLICATIONS.

C'est en conséquence des principes dont on vient de voir les preuves,

que le vuide ſe fait dans un vaiſſeau, par le moyen de la machine pneumatique : car en abaiſſant le piſton d'un bout à l'autre de la pompe, on fait naître un eſpace ſans air, dans lequel celui du récipient ne manque pas de s'étendre en vertu de ſon élaſticité ; mais une maſſe d'air qui ſe partage ainſi à deux eſpaces, devient néceſſairement plus rare dans chacun des deux ; c'eſt pourquoi le poids de l'atmoſphere produit en même temps les deux effets ſuivans : 1°. il attache le récipient à la platine, comme on a vu qu'il fait tenir enſemble les deux hémiſpheres de métal : 2°. ſi l'air extérieur ne peut pas rentrer par le haut de la pompe, ce même poids de l'atmoſphere remonte le piſton en partie, c'eſt-à-dire, juſqu'à ce que l'air qui eſt dans la pompe ſoit auſſi denſe que celui de dehors.

X. LEÇON.

Ce dernier effet mérite attention : bien des gens ſe dégoûtent de la machine pneumatique ſimple, par la difficulté qu'ils trouvent à remonter le piſton : on s'épargne une grande partie de cette peine quand on fait la clef du robinet de façon que l'air

X. LEÇON.

puiſſe bien paſſer du dedans au dehors de la pompe, mais non pas réciproquement; car avec cette précaution *, le piſton ſe releve comme de lui-même; & il reſte peu de choſe à faire, ſur-tout lorſqu'on approche des derniers degrés de la raréfaction.

* *Voyez les Mémoires de l'Acad. pour l'ann. 1740, pag. 413.*

Quant à l'adhérence du récipient à la platine, elle augmente à meſure que l'air ſe raréfie; & cette raréfaction, à chaque coup de piſton, ſuit le rapport des capacités. Si, par exemple, celle de la pompe eſt égale à celle du récipient, au premier coup, la denſité de l'air diminue de moitié, parce que ſon volume devient double, puiſqu'il remplit deux eſpaces ſemblables à celui qu'il occupoit d'abord: au ſecond coup, il ſe raréfie encore dans la même proportion, & par conſéquent ſa denſité eſt réduite au quart, & ainſi de ſuite; d'où il paroît qu'une machine pneumatique, quelque parfaite qu'elle puiſſe être, ne peut jamais évacuer parfaitement l'air du récipient, puiſque la denſité de cet air diminue toujours en proportion géométrique. En un mot, pour ne point ſe faire une idée fauſſe

du vuide qui ſe fait ainſi, on doit conſidérer le récipient comme étant toujours plein, mais d'un fluide dont la denſité diminue de plus en plus, juſqu'à ce que le reſſort de ſes parties ſoit autant détendu qu'il peut l'être, dans un eſpace où il eſt peu gêné : je dis peu gêné, pour ne pas dire abſolument qu'il ne l'eſt plus ; car il paroît qu'il l'eſt encore, quand on a épuiſé tous les efforts de la meilleure machine pneumatique, comme on le verra par ce qui va ſuivre.

X. LEÇON.

Que la raréfaction de l'air, dans le récipient, ſoit proportionnelle au rapport qu'il y a entre la capacité de ce vaiſſeau & celle de la pompe ; c'eſt un fait dont il eſt facile de s'aſſurer par l'expérience. Que l'on adapte un barometre à un récipient, dont la capacité ſoit à celle de la pompe, par exemple, comme 2 à 1, & qu'on l'applique à la machine pneumatique de la maniere qu'on le voit par la *Fig.* 13, au premier coup de piſton la denſité de l'air ſera diminuée d'un tiers ; auſſi le mercure deſcendra d'un tiers de ſa hauteur ; en partant de 27 pouces, il ſera donc à 18 : au ſecond

X. LEÇON. coup, l'air ſera d'un tiers encore plus rare qu'il n'étoit après le premier coup; & le mercure deſcendra auſſi du tiers de dix-huit pouces, c'eſt-à-dire, à 12; & toujours ainſi de la troiſieme partie du dernier reſtant.

Ce fait étant bien conſtaté, on pourra donc trouver tout d'un coup le rapport des capacités entre un récipient quelconque, & la pompe à laquelle on l'applique; & ſi l'on connoît la grandeur abſolue de l'une des deux, cette comparaiſon fera connoître l'autre; car premierement, ſi le mercure deſcend au premier coup de piſton du quart de ſa hauteur, on peut conclure en toute ſûreté, que la capacité du récipient eſt à celle de la pompe, comme 3 eſt à 1; & 2°. ſi l'on ſait d'ailleurs que la pompe tient une pinte, on ſaura de cette maniere que le récipient en tient trois: cette façon de jauger les vaiſſeaux, pourroit trouver des applications utiles.

On peut auſſi, par ce moyen, eſtimer les degrés de raréfaction de l'air; & il y a long-temps qu'on applique pour cet effet le barometre à la ma-

chine pneumatique : mais comme d'ordinaire on n'a beſoin de connoître au juſte l'état de l'air, que quand il approche des derniers degrés de raréfaction, on peut alors ſe diſpenſer d'employer un barometre entier, qui ſeroit trop caſuel & toujours fort embarraſſant ; puiſque dans un air très-raréfié le mercure ne garde que quelques pouces ou quelques lignes de hauteur, on peut regarder le reſte du tuyau qui demeure vuide au-deſſus comme inutile, & le ſupprimer : par ce moyen on a un barometre tronqué, qui n'eſt autre choſe qu'un petit ſiphon renverſé, dont la plus longue branche que l'on emplit de mercure, eſt ſcellée hermétiquement par le haut, & que l'on attache debout ſur un petit pied de plomb avec une regle de bois mince & graduée en pouces & en lignes. *Voyez la Fig.* 14.

Mais ſoit qu'on ſe ſerve de cette eſpèce de jauge, ſoit qu'on emploie le barometre entier, on ne voit jamais deſcendre le mercure parfaitement à ſon niveau ; il demeure toujours élevé un peu au-deſſus, s'il n'y

a point d'ailleurs quelques cauſſes étrangeres *. On ne doit pas s'en prendre au poids de l'air qui reſte dans le récipient : la colonne qui répond à celle du mercure eſt trop courte, & ſa denſité eſt trop diminuée pour avoir une peſanteur ſenſible ; mais il eſt naturel de penſer que quand l'air eſt extrêmement raréfié, ſon reſſort quoique ſuffiſant encore pour ſoutenir une ligne de mercure, eſt déjà trop affoibli pour forcer les frottemens & les vapeurs graſſes qui s'oppoſent à ſon paſſage dans le canal étroit du robinet. C'eſt une petite imperfection dont les machines pneumatiques les mieux faites ne ſont point exemptes ; mais ce défaut ne tire point à conſéquence, & quand elles n'ont que celui-là, on peut toujours réduire la denſité de l'air à $\frac{1}{336}$ de celle qu'il a quand le barometre marque 28 pouces ; car une bonne pompe abaiſſe le mercure à peu près à une ligne de ſon niveau, & 28 pouces donnent 336 lignes.

X. LEÇON.

* *Voyez les Mémoires de l'Acad. des Sciene. pour l'an 1741, p. 345.*

Si l'on entend bien de quelle maniere l'air agit, ſoit par ſon poids, ſoit par ſon reſſort, on expliquera facilement une infinité de faits cu-

rieux que l'uſage des machines pneumatiques, & la facilité que l'on a acquiſe de faire le vuide, ont donné occaſion de connoître.

X. LEÇON.

Une veſſie dans laquelle on enferme un peu d'air, & que l'on tient dans le vuide, ne manque pas de s'enfler, parce que ce peu d'air qu'elle contient, ſe raréfie lui-même, à meſure que celui qui l'environne perd de ſa denſité : & en pareil cas un plomb qui péſeroit 12 ou 15 livres ne l'empêcheroit pas de s'enfler, parce qu'il ne ſeroit point équivalent à la preſſion de l'air qu'on fait ceſſer d'agir autour d'elle dans le récipient.

Par la même raiſon, une bouteille de verre mince & pleine d'air que l'on a bien bouchée, creve dans le vuide, parce que rien ne fait plus équilibre au reſſort de l'air qu'elle contient, & qui fait un effort continuel pour ſe déployer.

Un œuf placé dans un gobelet ſe vuide par un fort petit trou que l'on fait en ſa partie inférieure, quand on raréfie l'air qui l'environne ; il ſe remplit auſſi par le même trou quand on laiſſe rentrer l'air dans le récipient :

X. LEÇON.

c'eſt qu'un œuf, ſur-tout s'il eſt vieux, contient de l'air qui ſurnage dans l'endroit le plus élevé de la coque, à cauſe de ſa légéreté : cet air s'étend & chaſſe devant lui la matiere propre de l'œuf, à meſure qu'on diminue la preſſion de l'air extérieur avec lequel il étoit d'abord en équilibre ; dès qu'on rend l'air dans le récipient, ſa preſſion fait rentrer tout ce qui eſt ſorti de la coque, & reſſerre l'air intérieur dans le premier eſpace qu'il occupoit.

Cette explication devient ſenſible, ſi dans une phiole pleine d'eau dont on plonge l'orifice dans un vaſe, on laiſſe une bulle d'air qui ne manque pas d'occuper la partie ſupérieure, & qu'on faſſe paſſer le tout dans le vuide. *Voyez la Fig.* 15. Car, à meſure qu'on raréfie l'air du récipient, on voit que la bulle s'étend de plus en plus (*a*), & qu'elle précipite l'eau qui eſt renfermée avec elle juſqu'au

(*a*) Par une pareille expérience, M. Mariotte conclut que l'air, en partant de l'état où il eſt à la ſurface de la terre, peut remplir un eſpace 4000 fois plus grand que celui qu'il a coutume d'occuper. *De la nature de l'air*, *p.* 173.

dessous du niveau ; après quoi si l'air vient à rentrer dans le récipient, la liqueur remonte, & l'air reprend son premier volume au-dessus d'elle. X. LEÇON.

Une vieille pomme se déride dans le vuide, parce que l'air qui est sous la peau s'étend & la souleve ; mais elle devient plus ridée qu'auparavant, quand elle sort du vuide, parce que l'air qu'elle contenoit en se mettant au large, en est sorti en partie, & qu'il en reste d'autant moins, pour résister à la pression de l'air extérieur, ce qui fait augmenter les plis de la peau.

Il seroit superflu de rapporter ici toutes les expériences de cette espece qui ont été faites, & qui feroient plutôt un spectacle agréable & amusant, qu'un concours de preuves nécessaires pour confirmer ou pour éclaircir les principes, que nous croyons avoir établis assez solidement : il suffit qu'on entende bien quelques-uns de ces faits, tous les autres deviennent faciles à expliquer.

Mais après avoir fait connoître le ressort de l'air tendu par le poids de l'atmosphere, & les différens degrés

X. LEÇON.

de rarétaction dont ce fluide eſt ſuſceptible, en partant de l'état où il eſt communément à la ſurface de la terre, il eſt à propos maintenant de faire voir combien on peut augmenter ſa denſité & ſon reſſort, lorſqu'on le ſoumet à une preſſion plus grande que celle de l'atmoſphere.

VI. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

La *Fig.* 16 repréſente un vaiſſeau de cuivre que l'on remplit d'eau environ juſqu'aux deux tiers de ſa capacité : on y joint enſuite le canal *NO*, garni d'un robinet qui s'ajuſte à vis au vaiſſeau, & dont le bout inférieur *O*, qui eſt ouvert, deſcend à une ligne près du fond. On adapte en *N*, la petite pompe foulante *PR*, *Fig.* 17, avec laquelle on fait entrer à force beaucoup d'air; après quoi le robinet étant fermé, on ôte la pompe pour viſſer en ſa place un ajutage percé d'un ou de pluſieurs trous.

La pompe prend l'air par un trou pratiqué en *P*, au-deſſus duquel on éleve le piſton; & ce même piſton,

en descendant, le force de passer par un petit trou pratiqué au fond, & sur lequel on a mis une soupape en dehors, pour empêcher que l'air ne revienne dans la pompe quand on éleve de nouveau le piston.

EFFETS.

Dès que l'on ouvre le robinet, l'eau sort du vaisseau en forme de jet, qui monte d'abord à la hauteur de 25 ou 30 pieds, & qui baisse sur la fin.

EXPLICATION.

La quantité d'air qu'on force d'entrer dans le vaisseau remonte d'abord à travers l'eau, à cause de sa légéreté, & va se joindre à celui qui occupe la place *L Q*, dont il augmente d'autant la densité : cet air ainsi comprimé a une force élastique beaucoup plus grande que le poids de l'air extérieur qui résiste à l'orifice *N* du canal. Cette force se déploie sur la surface de l'eau, & la chasse par le canal qui est ouvert, avec d'autant plus de vitesse qu'il y a de différence entre la densité de l'air qui est renfermé dans le vaisseau, & celle de l'air extérieur; & comme cet

X. LEÇON.

air qui chaſſe l'eau ſe trouve plus au large à meſure que le vaiſſeau ſe vuide, ſon reſſort s'affoiblit de plus en plus; & par cette raiſon le jet en devient moins élevé vers la fin.

Si l'on avoit lieu de douter que l'effet dont il s'agit ici ne vînt, comme nous le diſons, d'un défaut d'équilibre entre l'air du vaiſſeau & celui du dehors il ſeroit aiſé de s'en convaincre par une expérience aſſez jolie, & qui mérite d'être rapportée.

On peut cimenter un tuyau de verre, qui finiſſe en pointe à une bouteille de même matiere, de ſorte qu'elle ſoit en petit ce qu'eſt en grand le vaiſſeau de cuivre de l'expérience précédente : ſi l'on renverſe cette bouteille dans un gobelet plein d'eau, & qu'on couvre le tout d'un récipient ſur la platine d'une machine pneumatique, comme dans la *Fig.* 18, à meſure qu'on fera le vuide, on verra ſortir de la bouteille une partie de l'air qui formera des bouillons dans l'eau du gobelet; & enſuite lorſqu'on laiſſera rentrer l'air dans le récipient, ſa preſſion pouſſera dans la bouteille autant d'eau qu'il en ſera ſorti d'air.

Je

Je ne m'arrête point à expliquer ces deux premiers effets, on doit les entendre par ce qui a été dit ci-deſſus. Mais ſi l'on redreſſe la bouteille, comme dans la *Fig.* 19. & qu'on raréfie de nouveau l'air du récipient, celui qui eſt au deſſus de l'eau venant à ſe raréfier lui même, fera naître un jet qui s'élevera d'autant plus, qu'on aura rompu davantage l'équilibre entre les deux airs. Ici ce n'eſt pas l'air comprimé artificiellement qui force la réſiſtance du poids de l'atmoſphere, comme dans l'expérience précédente ; mais c'eſt le reſſort naturel de ce fluide que l'on met en état d'agir, en affoibliſſant celui qui lui réſiſte à l'orifice de la bouteille ; c'eſt toujours un air plus fort contre un air plus foible, en un mot, de l'eau entre deux portions d'air qui ne ſont plus en équilibre.

X. LEÇON.

VII. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

LA *Fig.* 20 repréſente une eſpece d'arquebuſe compoſée de deux canons de métal, placés l'un dans l'au-

tre, & entre lesquels il reste un espace bien fermé où l'on condense fortement l'air par le moyen d'une petite pompe foulante qui est logée dans la crosse. Il y a deux soupapes ; savoir, une au bout de la pompe, pour empêcher que l'air n'y revienne, quand on tire le piston ; & l'autre au bout du canon intérieur du côté de la culasse, où l'on a soin de placer une balle de calibre. La derniere de ces soupapes se leve par le moyen d'une détente, pour laisser passer l'air dans le petit canon, & se referme très-promptement, pour n'en faire échapper qu'une partie. Comme ces sortes d'armes ne sont pas fort en usage, j'ai fait construire celle dont je me sers, de maniere qu'on ne courût aucun risque en mettant les balles, & qu'on pût les ôter de même, sans être obligé de décharger l'air ; pour cet effet, il y a un canal ou réservoir qui contient 12 balles, & une espece de robinet que l'on tourne, pour les placer successivement dans la direction du petit canon, ou pour les déplacer si l'on ne veut pas tirer. Pour conserver à cet instrument toute la forme ex-

X. LEÇON.

térieure d'un fusil, on la garnit d'une platine dont la batterie sert à tourner la clef du robinet, & le mouvement du chien fait lever la soupape.

X. LEÇON.

EFFETS.

LE chien étant armé, dès qu'on le détend, la balle est chassée avec tant de force, qu'on peut l'ajuster assez bien à 70 pas dans un cercle d'un pied de diametre.

Les derniers coups ont toujours bien moins de force que les premiers; mais communément le huitieme perce encore une planche de chêne épaisse de 6 lignes, & placée à la distance de 20 ou 25 pas.

L'air & la balle, en sortant, font peu de bruit, sur-tout si le lieu où l'on est, n'est point fermé; ce n'est qu'un souffle violent qu'on entend à peine à 30 ou 40 pas.

EXPLICATIONS.

Après l'explication que j'ai donnée de l'expérience précédente, la seule préparation de celle-ci, doit suffire pour en faire entendre les effets: l'air condensé entre les deux

canons fait effort pour en ſortir ; dès qu'on lui donne ſon paſſage par le petit canon, il emporte tout ce qu'il y rencontre : la balle reçoit donc une vîteſſe preſqu'égale à celle avec laquelle cet air commence à s'échapper. Mais comme la ſoupape ne demeure ouverte qu'un inſtant, il ne s'en échappe à chaque fois qu'autant qu'il en faut pour faire partir une balle : cependant les dernieres ſont pouſſées plus foiblement parce que le reſſort de l'air diminue à meſure que ce qu'il en ſort lui laiſſe plus de place pour s'étendre. Le bruit eſt incomparablement plus foible que celui d'une arme à feu ; parce que ni la balle, ni l'air qui la pouſſe, ne frappent jamais l'air extérieur avec autant de violence & de promptitude qu'une charge de poudre enflammée, dont l'exploſion ſe fait toujours avec une vîteſſe extrême. L'arquebuſe à vent ſe fait pourtant plus entendre dans un lieu fermé, que dans un endroit découvert, parce qu'alors la maſſe d'air qui eſt frappée étant appuyée & contenue par des murailles ou autrement, fait une plus grande réſiſtance.

X. LEÇON.

APPLICATIONS.

X.

LEÇON.

LES fusils, pistolets, ou cannes à vent, sont des instruments plus curieux qu'utiles ; la difficulté de les construire, celle de les entretenir long-tems en bon état, les rend nécessairement plus chers, & d'un service moins commode & moins sûr que les fusils à poudre ordinaires : le seul avantage qu'on y pourroit trouver, je veux dire celui de frapper sans être entendu, pourroit devenir dangereux dans la société ; & c'est une précaution fort sage de restreindre le plus qu'il est possible l'usage de ces sortes d'instruments. Ceux qui les aiment en parlent souvent avec enthousiasme, & leur font plus d'honneur qu'ils n'en méritent, en leur attribuant des effets dont ils ne sont pas capables : il n'est point vrai, par exemple, qu'ils ayent jamais autant de force qu'une arme à feu ; & c'est une chose fort rare que les soupapes tiennent l'air assez constamment, pour les garder long-temps chargés.

Si les histoires qu'on fait de la *pou-*

X. LEÇON.

dre blanche ont quelque réalité, on doit ſans doute les entendre dans le ſens figuré, du fuſil à vent, qui eſt capable de porter un coup aſſez meurtrier ſans faire un bruit conſidérable ; car comme le bruit d'un fuſil ne vient point de la couleur de la poudre, mais qu'il eſt une ſuite néceſſaire de l'exploſion ſubite dont elle eſt capable, on doit croire que toute matiere qui ſe dilatera avec la même vîteſſe, qu'elle ſoit blanche ou noire, éclatera de même.

Quant aux fontaines artificielles où l'eau reçoit ſon mouvement du reſſort de l'air, on les peut varier de cent manieres différentes, plus curieuſes & plus agréables les unes que les autres : elles le ſont d'autant plus qu'on y voit l'eau s'élever au-deſſus de ſa ſource, tout au contraire des jets ordinaires, qui ſe font, comme on ſait, par une chûte d'eau, dont le réſervoir eſt plus haut. Je me contenterai d'un ſeul exemple, pour ne point m'arrêter infructueuſement à des choſes qui ſe trouvent dans tous les livres de Phyſique.

La fontaine qui eſt repréſentée par

la *Fig.* 21. porte le nom d'Hero, à qui l'on en attribue l'invention ; on la conſtruit communément de deux baſſins ou boîtes de métal que l'on joint par des tuyaux de même matiere : celle-ci eſt faite de verre, afin qu'on en apperçoive mieux le méchaniſme : la matiere & la forme extérieure ſont tout-à-fait indifférentes, on les peut varier ſelon ſon goût. Pour mettre cette fontaine en jeu, j'emplis d'eau juſqu'aux trois quarts le globe *AB*, par le canal *CD*, qui eſt ouvert de part & d'autre ; j'en mets enſuite dans le baſſin *GH*, pour tenir toujours plein le tuyau *IK*, qui eſt ouvert d'un bout à l'autre. Cette colonne d'eau qui tend à ſe répandre dans le globe inférieur *EF*, charge de tout ſon poids la maſſe d'air dont il eſt plein : cet air ainſi comprimé s'échappe par le canal *LM*, & exerce ſa preſſion ſur la ſurface de l'eau qui eſt en *AB* ; & enfin cette eau preſſée par l'air, s'élance en forme de jet par le canal *CD*, au bout duquel on met un ajutage percé, ſi l'on veut, de pluſieurs trous pour former une gerbe d'eau.

X. LEÇON.

X. LEÇON.

Il suffit de mettre d'abord un peu d'eau dans le bassin pour emplir le tuyau *IK*; le jet qui naît aussi-tôt fournit assez pour l'entretenir plein, & l'écoulement qui se fait ainsi du globe *AB*, retombe dans celui d'en-bas, que l'on vuide après l'opération par une espece de robinet qui est dessous.

On fait usage aussi du ressort de l'air comprimé, pour rendre continuel l'écoulement d'une pompe qui n'a qu'un piston : supposons, par exemple, que la pompe aspirante & foulante *nop*, *Fig.* 22. soit enveloppée d'un vaisseau cylindrique de métal, qui forme autour d'elle un espace bien fermé *QRS*, qui communique avec le tuyau montant *TV*.

Quand l'eau élevée par l'aspiration sous le piston sera forcée ensuite par la compression de passer par la soupape qui est en *o*, non-seulement elle s'élevera dans le tuyau, mais elle montera aussi vers *QR*, dans l'espace qui est autour de la pompe, & en s'élevant ainsi elle tendra le ressort de l'air qui sera entr'elle & le fond de cette cavité. C'est pourquoi pendant qu'on remontera le piston, pour

pour faire une nouvelle aſpiration, la réaction de cette maſſe d'air comprimé ſuppléera à la preſſion du piſton, & fera continuer l'écoulement en *V*.

X. LEÇON.

Par ce moyen on gagne certainement en viteſſe ; car le tuyau *TV*, fourniſſant de l'eau ſans interruption, il en paſſe une plus grande quantité dans un certain temps : mais cet avantage ne s'acquiert qu'aux dépens de la force, qui doit être plus grande de la part du moteur, puiſqu'il en faut non-ſeulement pour porter le poids de l'eau qui peſe en *T*, mais auſſi pour comprimer l'air dont on veut tendre le reſſort. Au reſte il y a bien des cas où il eſt important de fournir de l'eau ſans interruption ; & c'eſt pour cette raiſon que l'on conſtruit ainſi ces petites pompes portatives, ſi fort en uſage en Angleterre, en Hollande, & depuis quelques années à Paris, avec leſquelles chaque particulier peut arrêter au moins le progrès d'un incendie naiſſant, en attendant des ſecours plus puiſſants.

Depuis l'invention de la machine pneumatique, on a fait une grande quantité d'expériences dans le vuide

ou dans l'air raréfié à différents degrés: il étoit naturel de penſer qu'il y en avoit beaucoup à faire auſſi dans l'air condenſé au-deſſus de ce qu'il l'eſt communément, & pluſieurs Phyſiciens ont déja mis la main à l'œuvre. On ſe ſert, pour ces ſortes d'épreuves, d'un vaiſſeau capable d'une grande réſiſtance, & l'on y fait entrer de l'air à force avec une petite pompe ſemblable à celle dont nous avons fait uſage ci-deſſus pour la fontaine de compreſſion *. Mais l'air qui paſſe ainſi par une pompe ſe charge de vapeurs graſſes & humides; & il y a bien des cas où il ſeroit à ſouhaiter qu'il fût plus pur, afin que ce qui réſulte de l'expérience ne puiſſe être attribué à rien autre choſe qu'au degré de compreſſion qu'on lui a fait prendre, à la denſité de ſa propre matiere. Cette conſidération m'a fait imaginer une nouvelle machine, avec laquelle on pourra comprimer l'air, ſans diminuer le degré de pureté qu'il a dans l'atmoſphere, ou même en l'augmentant: lorſque j'y aurai mis la derniere main, ſi elle en mérite la peine, j'en ferai part au

X. LEÇON.

* *Fig.* 17.

public dans les Mémoires de l'Académie des Sciences, à la suite des instruments qui servent aux expériences de l'air, dont j'ai commencé la description.

X. LEÇON.

Il paroît par les expériences de Boyle, qu'on peut, par compreſſion, rendre le volume d'une maſſe d'air 13 fois plus petit qu'il n'eſt dans ſon état naturel à la ſurface de la terre. D'autres Philoſophes ont porté depuis cette épreuve plus loin par différents procédés : celui qui paroît avoir le plus fait à cet égard, eſt M. Hales, qui dit * avoir réduit l'air à la 1837e, partie de ſon volume ordinaire (a) ; ſur quoi M. Muſchenbroek fait une réflexion qui paroît fort judicieuſe. « L'air, par cette expérience, eſt devenu, dit-il, plus » de deux fois auſſi peſant que l'eau ; » ainſi comme l'eau ne peut être com-

* *Stat. des végét. dans l'append. p.* 390.

(a) Il y a de l'obſcurité dans le calcul de M. Hales ; M. de Buffon ſon traducteur trouve qu'il faut corriger le réſultat, en comptant 1551, au lieu de 1837. Par la traduction Italienne que Mademoiſelle Ardinghelli a faite de ce même ouvrage, il paroît que M. Hales a compté avoir réduit l'air à la 1598e. partie du volume qu'il a dans l'atmoſphere.

X. LEÇON.

» primée, il paroît de-là que les parties aëriennes doivent être d'une » nature bien différente de celle de » l'eau ; car autrement si l'air étoit de » même nature, on n'auroit pu le réduire qu'à un volume 800 fois plus » petit ; il auroit donc été alors précisément aussi dense que l'eau, & » il auroit aussi résisté à toutes sortes » de pressions avec une force égale à » celle qu'on remarque dans l'eau. »

M. Hales à cette occasion propose une espece de jauge, propre à mesurer les hauteurs de la mer ; mais comme la regle de M. Mariotte sur la condensabilité de l'air, n'est juste que dans les degrés moyens de compression, & qu'on ne sait point en quelle proportion ce fluide se comprime dans les degrés extrêmes, cette jauge ne pourroit pas avoir lieu.

M. Amontons, bien loin de révoquer en doute cette grande condensabilité de l'air, l'a supposée bien avant qu'on la connût par l'expérience, comme un principe par lequel on peut expliquer, selon lui, certains mouvemens intestins de notre globe ; car après avoir éprouvé que le ressort

de l'air animé par la chaleur, eſt d'autant plus fort que ce fluide a plus de denſité, il ne doute pas que les tremblements de terre ne puiſſent être excités par des maſſes d'air ſouterrein qui ſe dilatent, & il fait voir que la partie inférieure d'une colonne de l'atmoſphere prolongée de 18 lieues vers le centre de la terre, auroit, à cette profondeur, une denſité égale à celle du mercure *.

X. LEÇON.

* *Mém. de l'Académie*, 1703, *p.* 101.

Les expériences précédentes & les obſervations que nous y avons jointes, ont appris comment l'air change de denſité, & de quelle maniere ſon reſſort augmente ou diminue par une preſſion plus ou moins grande : il reſte à ſavoir maintenant, quels effets produiſent le chaud & le froid ſur ce fluide.

Ce n'eſt point ici le lieu d'examiner quelle eſt la nature du feu, ni comment il agit ſur les corps ; ces queſtions ſeront traitées dans la ſuite de cet ouvrage avec l'étendue qui leur convient ; nous dirons ſeulement par anticipation, & pour faciliter l'intelligence des effets que nous avons à expliquer préſentement, 1°.

X. LEÇON.

que le froid n'eſt, ni un être réel, ni une qualité poſitive, mais ſeulement l'état d'un corps qui eſt actuellement moins chaud qu'il ne l'a été ou qu'il ne le peut être, de ſorte qu'il n'y a rien dans la nature qui ſoit abſolument froid : la glace, par exemple, n'eſt froide que par comparaiſon à l'eau dont elle eſt formée, ou à quelque corps plus chaud qu'elle ; c'eſt une vérité que nous développerons davantage dans la ſuite, & que nous appuyerons de toutes les preuves néceſſaires. 2°. On peut conſidérer la chaleur, comme l'effet d'une matiere extrêmement ſubtile dont l'abondance ou l'action tient écartées les unes des autres les parties propres du corps qu'elle pénetre, & leur communique une partie de ſon mouvement.

En ſe repréſentant la chaleur ſous cette idée, on concevra facilement deux effets très-remarquables qu'elle produit dans une maſſe d'air, & que nous allons faire connoître par des expériences. Le premier de ces effets eſt, qu'elle en augmente le volume, c'eſt-à-dire, qu'une même quantité d'air eſt capable d'occuper plus ou

moins de place, quand elle eſt plus ou moins échauffée; le ſecond effet de la chaleur de l'air, eſt d'augmenter ſon reſſort, à proportion de la preſſion dont il eſt chargé, de ſorte qu'un même degré de chaleur appliqué à un même air doublement ou triplement condenſé, lui donne un reſſort double ou triple, comme on le verra par le détail des faits qui vont être rapportés.

VIII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

PARMI pluſieurs tubes de verre, tels que ceux dont on fait les barometres, il en faut choiſir un qui ait environ un pied ou 15 pouces de longueur, & qui ſoit par-tout d'un diametre égal; ce que l'on connoîtra facilement, en faiſant aller d'un bout à l'autre une petite colonne de mercure: car ſi elle eſt toujours de la même longueur dans tous le endroits du tube où elle ſe trouvera, c'eſt une marque que la capacité eſt égale dans toutes les parties ſemblables. Enſuite il faut ſceller hermétique-

X. LEÇON.

ment une des extrémités, & le placer sur des charbons ardents, pour le faire chauffer jusqu'à rougir ; alors on le prend avec des pinces pour plonger promptement le bout qui est ouvert, dans du mercure bouillant, & on laisse le tout refroidir. *Voyez la Fig.* 23.

Pour donner un degré de refroidissement connu, on met pendant quelques minutes le bout qui est scellé, dans de la glace pilée, observant néanmoins que le tube soit dans une situation presque horizontale, afin que l'air qui y reste ne soit presque point comprimé par le poids du mercure qui le tient enfermé.

EFFETS.

LE tube rougi au feu, & plongé dans le mercure, s'en remplit en partie ; & quand il a été quelque temps dans la glace, la portion d'air qui est contenue entre le bout scellé & le mercure, occupe à peu-près le tiers de la longueur du tuyau.

EXPLICATIONS.

LE tuyau de verre, avant que d'être chauffé, étoit rempli d'une colonne

d'air ſemblable à celui de l'atmoſphere: les parties de cette matiere qui fait la chaleur, quelle qu'elle ſoit, ayant pénétré le verre, & s'étant mêlées avec l'air, ont écarté les parties propres de ce fluide, & ſon volume, pour cette raiſon, s'eſt augmenté conſidérablement; mais comme la capacité du tuyau ne s'eſt point aggrandie proportionnellement, une grande partie de l'air en eſt ſortie, & le tube eſt reſté plein d'un peu d'air très-raréfié, & d'une grande quantité de la matiere du feu.

X. LEÇON.

Ce tube ayant été plongé dans le mercure, a commencé à ſe refroidir c'eſt-à-dire, que cette matiere étrangere, qui avoit pénétré le verre pour ſe méler avec l'air, s'eſt évaporée, ou qu'elle a perdu peu à peu la plus grande partie de ſon mouvement, ce qui a donné lieu aux parties de l'air de ſe rapprocher; d'autant plus que le poids de l'atmoſphere appuyant ſur la ſurface du mercure, l'a obligé d'entrer dans ce tube, & de s'y avancer, juſqu'à ce que le peu d'air qui y étoit reſté, eût acquis par une diminution ſuffiſante de ſon volume,

assez de denſité pour lui réſiſter.

X. LEÇON. On voit donc par cette expérience, qu'une certaine quantité d'air qui a la température de la glace & qui eſt ſoumiſe au poids de l'atmoſphere, n'a que le tiers du volume qu'elle a ſous la même preſſion, mais dans une chaleur capable de faire rougir le verre; ou, ce qui eſt la même choſe, que le volume de l'air dilaté par ce degré de chaleur eſt à celui qu'il a dans le froid de la glace, comme 3 à 1.

Par des expériences à peu-près ſemblables, on a trouvé que le volume de l'air lorſqu'il commence à geler, eſt à celui qu'il a dans la chaleur de l'eau bouillante, comme 2 à 3, & qu'il ſe dilate environ d'un ſeptieme à compter depuis le froid de la glace commençant, juſqu'à nos chaleurs communes d'été, qui ſont à peu près de 25 degrés au thermometre de M. de Réaumur.

Mais dans ces ſortes d'expériences, ſur-tout lorſqu'on chauffe l'air conſidérablement, on trouve ſouvent des différences bien conſidérables, ſuivant l'état actuel de l'air ſur lequel on opere, ou des vaiſſeaux qu'on em-

ploie ; car c'eſt un fait, que l'humidité ſe joignant à l'air que l'on fait chauffer, elle occaſionne une dilatation, qui eſt quelquefois 10 ou 12 fois plus grande qu'elle ne le ſeroit avec le même degré de chaleur, ſi l'on employoit un air plus ſec.

D'ailleurs, comme l'air eſt plus denſe ou plus comprimé dans un temps que dans un autre, les réſultats varient auſſi ſelon la hauteur actuelle du barometre, qu'on ne doit pas négliger de conſulter en pareil cas.

APPLICATIONS.

C'eſt en dilatant l'air par une chaleur violente, que l'on fait crever avec éclat ces petites empoules de verre minces, qu'on ſouffle à la lampe d'un émailleur, & qu'on ſcelle hermétiquement : l'effet en eſt plus ſûr & plus grand, quand on y renferme une petite goutte d'eau, non-ſeulement parce que l'humidité procure une plus grande dilatation, mais auſſi parce que la fraîcheur de la liqueur empêche que le verre ne s'amolliſſe au grand feu, & ne ſe prête ſans rompre, à l'extenſion du fluide renfermé,

X. LEÇON. Quand on met ces pétards à la bougie pour ſurprendre quelqu'un, on doit craindre que les éclats de verre ne ſautent aux yeux, & n'incommodent ceux qui ne ſont point en garde. Les châtaignes ou les marons qui crevent ſous la cendre chaude, ne ſont pas ſi dangereux, mais c'eſt encore un effet qui dépend de la même cauſe; l'air renfermé ſous l'écorce ſe dilate, & la fait crever, quand on n'a point pris la précaution de l'entamer; plus elle réſiſte, plus ſa rupture eſt éclatante.

* *Prem. Sect. III. Exp. p.* 27. Dans la premiere leçon *, j'ai fait mention d'une petite caſſolette de verre que j'ai ſuppoſé être en partie pleine d'une liqueur odorante; mais je n'ai point dit alors comment on s'y prend pour emplir ce petit vaſe, dont le col & l'orifice ſont tellement étroits, qu'il n'y a pas moyen de penſer à faire uſage d'un entonnoir. On vient facilement à bout de cette opération, ſi l'on chauffe cette petite bouteille, & qu'on plonge auſſi-tôt ſon ouverture dans la liqueur qu'on y veut introduire; car en dilatant l'air par la chaleur, on en fait ſortir

une grande partie, & ce qui reſte, venant enſuite à ſe condenſer à meſure qu'il ſe refroidit, laiſſe un vuide où le poids de l'atmoſphere porte la liqueur, comme il eſt arrivé à l'égard du tube qui a été employé dans l'expérience précédente.

C'eſt auſſi de cette maniere qu'on emplit les verres des thermometres, dont les tuyaux ſont ordinairement ſi menus, qu'on ne pourroit jamais y faire entrer la liqueur par tout autre moyen, à moins que d'y employer beaucoup de temps. La dilatation de l'air même, ne ſeroit encore qu'un moyen imparfait dans ces ſortes de cas où il s'agit d'emplir entiérement le vaiſſeau, puiſqu'une très-grande chaleur ne peut faire ſortir qu'environ les deux tiers de l'air; mais on y en joint un autre dont nous parlerons par la ſuite, & qui procure une évacuation d'air beaucoup plus complette.

A propos des thermometres, celui de Sanctorius, qui eſt repréſenté par la *Fig.* 24. produit encore ces effets en conſéquence de la dilatabilité de l'air. Lorſqu'on applique la main à la boule d'en haut, l'air qu'elle con-

X. LEÇON.

tient, & qui remplit une partie du tuyau juſquen *N*, s'échauffe, ſe dilate, & fait deſcendre dans le réſervoir d'en-bas, une liqueur colorée, dont la marche devient ſenſible, & peut ſe meſurer par la graduation qui eſt ſur la planche. Si l'air que l'on a échauffé ſe refroidit enſuite, il ſe condenſe, & la même liqueur pouſſée par le poids d'une colonne de l'atmoſphere qui répond en *M*, remonte vers la boule; ce qui devient remarquable par les degrés de l'échelle qu'elle parcourt de bas en haut; nous reprendrons l'hiſtoire de cet inſtrument, lorſque nous parlerons de ceux qui ſervent à meſurer les degrés de chaud & de froid.

Comme on fait jaillir l'eau par la compreſſion de l'air, on peu de même employer ſa dilatation pour former des fontaines qui amuſent les curieux: ces principes de mouvements auroient des applications ſans fin; mais le recueil qu'on en pourroit faire n'entre point dans le deſſein de cet ouvrage, je me borne à deux exemples par leſquels on pourra juger des autres. *AB*, *Fig.* 25. eſt un vaſe de verre étranglé & ouvert en haut & en bas,

1 2 3 4 5 6 7 8
N
M
V
Fig. 24.
Fig. 22.
Q
P
S
T

dont la patte eſt arrêtée ſur le deſſus d'une caiſſe *CD*, formée en piedeſtal : on a cimenté en *A* un petit tuyau *EF*, qui d'une part finit en pointe comme un ajutage, & dont l'autre bout touche, à quelques lignes près, le fond du vaſe. Un autre tuyau qui aboutit en *G*, & qui eſt ouvert, paſſe dans l'étranglement *B*, où il eſt cimenté, & au travers du piedeſtal, pour ſe joindre à une eſpece de ballon de cuivre mince, auquel il eſt ſoudé. La caiſſe *CD*, eſt garnie de plomb par dedans ; & le deſſus qui peut ſe lever, s'attache avec des crochets.

X. LEÇON.

Le ballon de cuivre ne contient que de l'air ; le vaſe *AB*, eſt rempli d'eau, environ juſqu'aux trois quarts de ſa capacité, & l'on verſe de l'eau bouillante dans la caiſſe *CD*, par un trou qui eſt pratiqué au-deſſus, & dans lequel on place un entonnoir.

L'air du ballon étant échauffé par l'eau bouillante dans laquelle il ſe trouve plongé, ſe dilate par le canal *G* ; & preſſant par ſon reſſort la ſurface de l'eau qui eſt dans le vaſe *AB*, il la fait ſortir en forme de jet par le petit canal *E*. Il faut que le ballon de

X. LEÇON.

cuivre ſoit au moins deux fois auſſi grand que le vaſe *AB*; car comme nous l'avons dit ci-deſſus, l'air ne ſe dilate que d'un tiers par la chaleur de l'eau bouillante, & l'eau ne peut pas bouillir dans la caiſſe qui contient le ballon.

On pourra faire un petit jet ſemblable à celui qui eſt repréſenté par la *Fig.* 19. ſi, au lieu de placer la bouteille dans le vuide, on la plonge dans un bain d'eau bouillante: mais alors il eſt à propos que cette bouteille ſoit de métal, de crainte que la chaleur ſubite, ou la grande dilatation de l'air ne la faſſe crever.

Si l'on veut faire un jet de feu, on ſe ſervira d'eſprit-de-vin ou de bonne eau-de-vie, & l'on tiendra pendant quelques inſtants l'orifice du vaiſſeau bouché avec le bout du doigt ou autrement, pour donner le temps à la liqueur de s'échauffer un peu; & avec la flamme d'une bougie on allumera le jet lorſqu'il partira. *Voyez la Fig.* 26.

ON vient de voir que la chaleur augmente le volume de l'air quand il eſt libre de s'étendre; on apprendra par

par ce qui ſuit, que la même cauſe augmente ſon reſſort, lorſque le volume eſt fixé par des obſtacles.

IX. EXPERIENCE.

PREPARATION.

ABC, *Fig.* 27, eſt un tube de verre qui a un peu plus de 4 pieds de longueur, environ une ligne de diametre intérieurement, recourbé par en bas, & terminé par une boule creuſe & mince, qui a 4 ou 5 pouces de diametre. On y fait couler du mercure, pour emplir ſeulement la courbure *DBC*, & de maniere que l'inſtrument étant debout, cette liqueur ſoit en équilibre avec elle-même dans les deux branches; on juge bien que pour cet effet, il faut que l'air de la boule ne ſoit pas plus condenſé que celui de l'atmoſphere au moment de l'expérience. Enſuite on ajoute du mercure dans la partie *AD* du tuyau, juſqu'à ce qu'il y en ait une colonne de 28 pouces, à compter du niveau, c'eſt-à-dire, de la ligne *DC*; & l'on plonge toute la partie inférieure dans un bain d'eau bouillante, de telle

sorte que la boule en soit entiérement couverte.

X. LEÇON.

EFFETS.

L'instrument étant ainsi plongé, le mercure s'éleve de 18 pouces & quelques lignes dans la branche la plus longue, ce qui fait une colonne d'environ 46 pouces, à compter du niveau du mercure dans la plus courte branche.

EXPLICATIONS.

Lorsqu'il n'y a du mercure que dans la courbure du tuyau, & qu'il n'est pas plus élevé dans une branche que dans l'autre, l'air de la boule est, par son ressort, en équilibre avec le poids de l'atmosphere, qu'on suppose équivalent à 28 pouces de mercure, pendant le temps de l'expérience. Les 28 pouces de mercure qu'on ajoute ensuite dans la longue branche, doublent donc cette pression, & par conséquent la densité de l'air qui est dans la boule: si cet air ainsi comprimé & plongé dans l'eau bouillante, devient capable de porter encore 18 pouces & 8 lignes de mercure, c'est une preuve que ce degré de chaleur aug-

mente ſon reſſort d'un tiers ; car 18 pouces 8 lignes ſont juſtement la troiſieme partie de 56, ſomme de la double preſſion dont l'air eſt chargé avant l'immerſion.

X. LEÇON.

Comme les 18 pouces & 8 lignes de mercure s'élevent dans la longue branche aux dépens de celui qui eſt dans la plus courte, le volume de l'air échauffé augmente toujours un peu pour deux raiſons ; 1^ment, parce que le mercure qui paſſe dans l'autre branche, lui laiſſe un peu de place pour s'étendre ; 2me:nt, parce que le verre ſe dilate par la chaleur, & que la capacité de la boule, devient néceſſairement un peu plus grande, comme nous le ferons voir ailleurs : c'eſt pourquoi la denſité de l'air diminuant un peu, la force de ſon reſſort augmenté par la chaleur, n'eſt pas tout-à-fait auſſi grande qu'elle le ſeroit, ſi le volume demeuroit conſtamment dans ſes bornes ; ainſi l'augmentation de la colonne de mercure au-deſſus des 28 pouces ne va jamais juſqu'à 18 pouces 8 lignes ; mais il ne s'en faut que d'une petite quantité, quand on ſe ſert d'un tuyau fort me-

nu, par comparaiſon à la capacité de la boule.

X. LEÇON. C'eſt donc un fait inconteſtable, que la force du reſſort de l'air augmente d'un tiers par la chaleur de l'eau bouillante : mais quelle eſt la raiſon de ce fait, & comment arrive-t-il que les parties de l'air échauffé acquierent plus de roideur ? c'eſt ce que l'expérience n'apprend point. On peut dire cependant, en raiſonnant par des conjectures aſſez plauſibles, que * » l'action de la chaleur conſiſte, comme nous l'avons déja dit, en une » infinité de petites particules très-» agitées, qui pénetrent les corps. » Quand elles entrent dans une maſſe d'air, elles en ouvrent & elles » en développent les lames ſpirales, » non-ſeulement parce que ce ſont » de nouveaux corps qui ſe logent » dans leurs interſtices ; mais principalement, parce que ce ſont des » corps qui ſe meuvent avec beaucoup de violence ; de-là vient » l'augmentation de ce volume d'air. » Que s'il eſt enfermé de maniere » qu'il ne ſe puiſſe étendre, les particules de feu qui tendent à ouvrir

* *Hiſt. de l'Acad. des Scienc.* 1720. p. 3.

» les ſpirales, & ne les ouvrent point, » augmentent par conſéquent leur force de reſſort, qui ceſſeroit, ſi elles » s'ouvroient librement. Quand l'air » eſt condenſé, il y a plus de particules d'air dans un même eſpace, & » quand les particules de feu viennent » à y entrer, elles exercent donc leur » action ſur un plus grand nombre de » particules d'air; c'eſt-à-dire, qu'elles cauſent ou une plus grande dilatation ou une plus grande augmentation de reſſort. Or quand l'air eſt » chargé d'un plus grand poids, il eſt » plus condenſé; & par conſéquent, » s'il ne peut alors s'étendre, comme » on le ſuppoſe toujours, un même » degré de chaleur augmente davantage ſon reſſort. »

X. LEÇON.

APPLICATIONS.

EN procédant comme dans l'expérience précédente, on obſerve que l'augmentation cauſée au reſſort de l'air par la chaleur de l'eau bouillante, eſt égale au tiers du poids dont l'air eſt alors chargé, ſi l'expérience eſt faite dans le printemps ou dans l'automne; c'eſt-à-dire, dans un temps qui tienne

X. LEÇON.

à peu près le milieu entre le grand chaud & le grand froid. Ainſi l'air que nous reſpirons, toujours chargé d'un poids égal à celui de 28 pouces de mercure à peu près, étant échauffé par de l'eau bouillante, augmenteroit la force de ſon reſſort de 9 pouces 4 lignes. Un air condenſé au double, l'augmenteroit de 18 pouces 8 lignes, qui font le tiers de 56. Réciproquement un air toujours dans le même état de condenſation augmentera différemment ſon reſſort, ſelon les différents degrés de chaleur

M. Amontons, à qui l'on doit cette découverte, en a fait lui-même une application utile, en conſtruiſant ſur ce principe un thermometre d'air * qui me paroît avoir été le premier (a) où les degrés de chaleur ſe rapportaſſent à un terme connu: car avant lui ces ſortes d'inſtrumens n'apprenoient rien, ſinon qu'il faiſoit plus froid ou plus chaud que dans un autre lieu, dans un autre temps où on les avoit obſervés:

* *Mém. de l'Acad. des Scienc. 1702, p. 161.*

(a) On trouve dans les Tranſact. Philoſoph. n. 197, année 1693, un Mém. de M. Halley, qui a pour objet de faire un thermometre comparable en tous lieux & ſans modele.

les thermometres comparables ont pris naiſſance entre ſes mains ; s'il ne les a point portés au degré de perfection où ils ſont aujourd'hui, on lui a du moins l'obligation de nous avoir mis ſur la voie. X. LEÇON.

Un poële allumé dans une chambre ne manque pas d'en raréfier l'air, parce que cet air n'eſt pas tellement renfermé, qu'il ne communique un peu avec celui du dehors, par des petits paſſages qui ſe trouvent toujours à la porte ou aux fenêtres, & qui lui laiſſent la liberté de s'étendre ; mais l'air, quoiqu'ainſi raréfié & moins denſe que l'atmoſphere, ſe tient pourtant en équilibre avec elle, parce qu'en s'échauffant il acquiert un degré de reſſort qui le met en état d'en ſoutenir la preſſion ; la même cauſe qui diminue ſa denſité, augmente d'autant ſon reſſort, & l'un ſupplée à l'autre.

Il n'en eſt pas de même lorſqu'on fait du feu dans une cheminée ; l'air s'y raréfie, ſans que ſon reſſort augmente, parce qu'il peut s'étendre facilement ; auſſi-tôt l'équilibre ceſſe entre les deux colonnes de l'atmoſphere qui répondent aux deux extrémités du tuyau ; celle qui peſe par en

X. LEÇON.

bas ayant toute sa densité, l'emporte sur l'autre qui est en partie raréfiée, & il se fait un courant d'air de bas en haut : voilà au moins ce qui arrive pour l'ordinaire ; nous aurons peut-être occasion d'examiner ailleurs, quelles sont les causes qui peuvent empêcher cet effet, & déterminer l'air à descendre par la cheminée.

De tous les usages que nous faisons de l'air, il n'en est point de plus fréquent, de plus remarquable, de plus nécessaire, que celui qu'on nomme *respirer*. Environ 30 fois dans chaque minute, la poitrine s'éleve & s'abaisse, & par ce mouvement alternatif assez semblable à celui d'un soufflet qui est en jeu, elle se rétrécit & se dilate : en se dilatant, elle reçoit l'air extérieur, qui, pressé par le poids de l'atmosphere, passe dans les vésicules des poulmons ; lorsque la poitrine s'abaisse ensuite, l'air qui ne peut plus y être contenu, passe au dehors & emporte avec lui les vapeurs dont il s'est chargé : la premiere de ces deux actions se nomme *inspiration*, la derniere s'appelle *expiration*, & l'une & l'autre sont tellement nécessaires pour la conser-

vation

vation de la vie, qu'il n'y a aucun animal qui ne périsse infailliblement quand on lui interdit ce double mouvement, ou qu'on le prive d'un air capable de l'entretenir, comme on le verra dans les expériences suivantes.

X. EXPERIENCE.

PRÉPARATION.

On couvre d'un grand récipient un pigeon ou quelqu'autre oiseau que l'on place sur la platine d'une machine pneumatique, & l'on donne plusieurs coups de piston pour raréfier l'air peu à peu, *Fig.* 28.

EFFETS.

Quand la densité de l'air est diminuée à peu près des deux tiers dans le récipient, l'oiseau tombe en convulsion; assez souvent il se vuide par le bec, ou par la voie ordinaire des excrémens; & si l'on continue de faire le vuide plus parfaitement, ou qu'on le laisse seulement quelques minutes en cet état, il périt sans retour, mais lorsqu'on lui rend l'air promp-

tement, il se rétablit en peu de temps ; ce rétablissement, à dire vrai, n'est pas pour l'ordinaire de longue durée ; je n'ai guere vu d'oiseaux, ni même d'autres animaux, qui ayent beaucoup survécu à cette épreuve.

X. LEÇON.

XI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Dans un grand vase de verre presque plein d'eau, on met un petit poisson vivant, & l'on couvre le tout d'un grand récipient sur la machine pneumatique. *Fig.* 29.

EFFETS.

A mesure qu'on fait le vuide dans le récipient, on voit sortir des bulles d'air de dessous les écailles du poisson, par ses ouies & par sa bouche. L'animal se tient à la surface de l'eau, sans pouvoir aller au fond; il y meurt enfin, mais ce n'est qu'après plusieurs heures d'épreuve : & quand on fait rentrer l'air dans le récipient, soit avant, soit après sa mort, il retombe au fond du vase, & ne peut jamais remonter à la surface de l'eau.

EXPLICATIONS.

X. LEÇON.

La vie animale, comme on ſait, conſiſte principalement dans le mouvement du cœur & dans la circulation du ſang. Or ſi l'on en croit les plus habiles Anatomiſtes, & ſi l'on en juge par leurs obſervations & par leurs expériences, la reſpiration entretient l'un & l'autre ; ſoit parce que l'air qui eſt pouſſé dans les poulmons par le poids de l'atmoſphere, ſert d'antagoniſte aux muſcles que la nature emploie pour l'inſpiration, & que preſſant les vaiſſeaux où le ſang a été porté par la contraction du cœur, il le détermine à refluer vers cette ſource, pour aller enſuite aux autres parties du corps ; ſoit parce que l'air diviſé & filtré, pour ainſi dire, ſe mêle avec le ſang & circule avec lui en l'animant par ſon reſſort * : l'animal qui ne peut pas reſpirer, ne peut donc pas continuer de vivre.

L'oiſeau que l'on a placé dans un air conſidérablement raréfié, ne reſpire plus, parce que cet air ne participe plus au poids de l'atmoſphere,

* *M. Méry. Mém. de l'Académie des Sciences, 1700, p. 111*

X. LEÇON.

dont il eſt ſéparé, & que ſon reſſort, comme ſa denſité, eſt beaucoup diminué. C'eſt en vain que la poitrine ſe dilate; le fluide qui a coutume de s'y introduire n'en a plus la force; ainſi le mouvement alternatif que l'on nomme reſpiration, ne peut plus avoir lieu, puiſque des deux puiſſances qui le produiſent, on en ſupprime, ou on en affoiblit une, qui eſt le poids ou le reſſort de l'air.

Une autre cauſe qui fait périr un animal dans le vuide, c'eſt que l'air qu'il a dans les différentes capacités & dans les fluides mêmes de ſon corps, ſe raréfie fortement, lorſqu'il n'eſt plus contenu par la preſſion de l'air extérieur; car toutes ces portions d'air dilaté, acquérant un volume beaucoup plus grand que celui qu'elles ont dans l'état naturel, compriment & rompent ſouvent les parties où elles ſe trouvent engagées, ou bien elles font des obſtructions dans les vaiſſeaux, & arrêtent le cours des humeurs. C'eſt pour cela ſans doute que les animaux ont ordinairement des nauſées, ou qu'ils ſe vuident lorſqu'on les applique à ces ſortes d'épreuves; car l'air des inteſ-

tins ou de l'eſtomac venant à s'étendre, chaſſe devant lui les alimens non digérés, ou les excrémens qui lui ferment le paſſage. X. LEÇON.

On ne peut pas douter qu'il n'y ait de l'air dans le corps des animaux, & même de ceux que la nature a deſtinés à vivre dans l'eau, puiſqu'on le voit ſortir du poiſſon à meſure qu'on fait le vuide dans le récipient. Il y a toute apparence que les aquatiques & les amphibies reſpirent différemment des autres animaux qui vivent continuellement dans l'air, puiſque la privation de cet élément ne les fait pas mourir auſſi promptement; mais on doit croire que ce qui accélere le plus leur perte dans le vuide, c'eſt l'air intérieur qui ſe dilate & qui met tout en déſordre. Cette double véſicule qu'on trouve dans les carpes & dans la plupart des autres poiſſons, ſe diſtend en pareil cas & fait enfler le corps de l'animal; c'eſt pourquoi tant qu'il eſt dans le vuide, il ſurnage malgré lui, étant plus léger alors que le volume d'eau auquel il répond: mais il devient plus petit & ſe précipite involontairement quand on fait rentrer l'air dans le ré-

X. LEÇON. cipient, parce que la véſicule en ſe dilatant s'eſt vuidée en partie, & que le reſte de l'air qu'elle contient, lorſqu'il reprend une denſité égale à celle de l'atmoſphere, n'eſt plus capable de la remplir, comme il eſt facile de s'en aſſurer en ouvrant le corps du poiſſon.

APPLICATIONS.

Par l'explication que je viens de donner des deux expériences précédentes, on voit que les animaux placés dans le vuide y périſſent par deux raiſons principales : premiérement, par défaut de reſpiration ; ſecondement, par la dilatation de l'air qui ſe trouve renfermé dans leurs corps. Comme les genres & les eſpeces different non-ſeulement par la figure & par les mœurs, mais encore par la conformation, le nombre & la grandeur des parties internes, il eſt vraiſemblable que tout ce qui reſpire ne reſpire point de la même façon ; que dans certains animaux la reſpiration doit être abondante & fréquente ; & que dans d'autres au contraire elle peut ſe faire plus lentement & avec un air plus rare, au moins pour un cer-

tain temps. Voilà, ſans doute, pourquoi de tant d'animaux d'eſpeces différentes, éprouvés dans le vuide par Boyle, l'Académie de Florence, Derham, Muſchenbroek, & tant d'autres Phyſiciens, les uns meurent dans l'eſpace de 30 ou 40 ſecondes, comme preſque tous les oiſeaux, les chiens, les chats, les lapins, les ſouris, &c. pendant que d'autres ſoutiennent un vuide de pluſieurs heures, comme les poiſſons, la plûpart des reptiles, & nommément la grenouille, qui réſiſte quelquefois à cette épreuve pendant un jour entier ſans mourir. Car puiſque ces derniers animaux vivent commodément dans l'eau, on ne peut pas dire qu'ils aient beſoin de reſpirer à la maniere des animaux terreſtres; & peut-être ſoutiendroient-ils le vuide plus long-temps qu'ils ne font, s'ils n'avoient à y ſouffrir qu'une ſimple privation d'air, & ſi celui qu'ils ont au-dedans du corps ne dérangeoit rien à l'économie des parties, par ſa grande dilatation. Ce qui me porte à penſer ainſi, c'eſt qu'on les voit s'enfler conſidérablement, & qu'après la mort, on leur trouve toujours les poulmons flaſques & plus peſans que l'eau.

X. LEÇON.

X. LEÇON.

Une autre raiſon qu'on pourroit alléguer encore en faveur de cette opinion, c'eſt que preſque tous les inſectes ; ceux même qui vivent en plein air, les papillons, les mouches, les ſcarabées ſouffrent, ſans périr, une privation d'air qui va quelquefois à pluſieurs jours, ſans doute parce que n'ayant dans le corps que de très-petits volumes d'air qui ſe dilatent peu, le fluide ne peut leur être mortel, que par le ſeul défaut de reſpiration ; & ces petits animaux vraiſemblablement peuvent être long-temps ſans reſpirer, au moins l'air groſſier.

Convenons cependant que l'état naturel de tous ces animaux eſt de pouvoir prendre l'air, & que c'eſt leur faire violence que de les en priver. On voit le poiſſon s'élancer de lui-même à la ſurface des étangs, pour en prendre de nouveau & pour, rejetter celui qu'il a pris précédemment. Les Naturaliſtes conviennent qu'il ſait filtrer & s'approprier celui qui eſt diſſéminé dans l'eau ; & quand il meurt ſous la glace, on a raiſon de croire que c'eſt parce que l'air lui a manqué,

puiſqu'on évite cet accident quand on a ſoin de rompre les glaçons. Enfin le poiſſon vit beaucoup plus long-temps dans l'air & ſans eau, qu'il ne peut faire en pleine eau, s'il manque d'air. X. LEÇON

En conſéquence de ce dernier fait, qui eſt inconteſtable, en voici un autre que je trouve dans de bons Auteurs, & que j'ai appris moi-même en Hollande & en Angleterre, de pluſieurs perſonnes que je ne puis pas ſoupçonner d'avoir voulu m'en impoſer. On ſuſpend, dit-on, des carpes dans des petits filets ſur de la mouſſe humide & dans un lieu frais, & pendant deux ou trois ſemaines on les engraiſſe avec de la mie de pain trempée dans du lait. S'il n'y a rien à rabattre de ce récit (*a*), il eſt évident que l'air eſt plus néceſſaire que l'eau au poiſſon même, & qu'on peut mettre ce principe à profit.

Quelques Auteurs ont obſervé, que

(*a*) J'ai tenté deux fois cette expérience ſans ſuccès; mais je n'en ai pu rien conclure de certain, parce que les carpes que j'ai employées, avoient été fatiguées par un aſſez long tranſport, ou aſſez mal-traitées depuis qu'elles étoient ſorties de l'eau. Je n'ai jamais pu leur faire rien avaler : elles [illegible] moins de 24 heures.

X. LEÇON.

les chiens, les chats, les lapins, *&c.* nouveaux nés, ne meurent pas dans le vuide auſſi promptement que les adultes des mêmes eſpeces; c'eſt que la reſpiration eſt d'une néceſſité plus preſſante pour ceux-ci que pour les premiers. Pour en ſentir la différence, il faut ſavoir qu'avant la naiſſance, il n'y a qu'une circulation pour la mere & pour le fœtus. Dans celui-ci qui ne reſpire point encore, le ſang va du ventricule droit au ventricule gauche du cœur, par une communication que les Anatomiſtes ont nommée le *trou ovale*, & ſans être obligé de paſſer par le poulmon, où l'air extérieur n'a point encore d'accès : mais après la naiſſance, ce paſſage ſe ferme peu à peu, & la reſpiration devient néceſſaire pour enfler les véſicules du poulmon, & pour faire circuler le ſang dans le nouvel animal ſéparé de ſa mere, de la même façon que la reſpiration de celle-ci le faiſoit circuler précédemment dans l'un & dans l'autre. C'eſt pourquoi l'on reconnoît communément ſi un enfant eſt mort avant que de naître, ou s'il a reſpiré avant que de mourir, en mettant ſon

poulmon dans l'eau ; car s'il ſurnage c'eſt une marque qu'il y a de l'air, & que l'enfant a reſpiré, ce qu'il n'a pu faire qu'après ſa naiſſance. C'eſt une épreuve que la Juſtice mettoit en uſage lorſqu'il s'agiſſoit de juger une mere qui étoit accuſée d'avoir tué ſon enfant, & qui ſe défendoit de ce crime, en ſoutenant qu'il étoit venu mort au monde. Mais on a obſervé depuis, qu'en certain cas le poulmon d'un fœtus peut ſurnager, & que celui d'un enfant nouveau né peut aller au fond de l'eau ; ce qui rend cette expérience inſuffiſante pour établir un jugement de cette importance.

X. LEÇON

Pluſieurs Anatomiſtes * prétendent avoir trouvé le trou ovale encore ouvert dans les adultes. Cette obſervation qui n'eſt preſque (*a*) point conteſtée, peut expliquer certains faits dont le récit révolte les eſprits les plus crédules. Telle eſt l'hiſtoire du

* *Hiſt. de l'Académie des Sciences, 1700, p. 40.*

(*a*) Cheſelden, célebre Anatomiſte de Londres, prétend que tous ceux qui ont cru voir le trou ovale dans les adultes, ſe ſont trompés en prenant pour ce trou l'ouverture des veines coronaires. *Derham. Théol. Phyſ. liv. 4, chap. 7, rem. 15.*

X. LEÇON. Jardinier (*a*) de Troningholm en Suede, qu'on dit avoir été 16 heures perdu dans l'eau & ſous la glace, ſans avoir été noyé; telle eſt celle d'un certain Laurent Jonas qui y reſta, dit-on, ſept ſemaines ſans mourir : l'une & l'autre ſont rapportées par Pecklin * ſur des témoignages qui paroiſſent authentiques. Je ſens par moi-même qu'on aura bien de la peine à s'y rendre; mais pourtant, s'il eſt vrai qu'on puiſſe vivre autant que le ſang peut circuler, que la circulation ſe faſſe librement ſans reſpirer l'air, dans ceux qui ont le trou ovale encore ouvert, & que ce trou ait été obſervé dans des adultes, ſeroit-il impoſſible qu'il ſe rencontrât de ces faits extraordinaires?

* *De aëris & alim. conf. p.* 10.

On croira plus facilement ce que l'on raconte de pluſieurs perſonnes qui ont été étranglées par ordre de la Juſtice, ou autrement, & qui ont été trouvées vivantes, après avoir été

(*a*) Une perſonne du Pays, diſtinguée par ſa naiſſance & par un goût décidé pour les Sciences, m'a aſſuré que ce fait paſſe conſtamment pour vrai en Suede; mais que c'eſt à Stromsholm, ſéjour ordinaire de la Cour, & non à Troningholm, qu'il eſt arrivé.

détachées de la potence : ces exemples se rencontrent plus fréquemment, & plusieurs sont suffisamment attestés. Cependant il paroît qu'il y a plus de causes de mort dans les pendus que dans les noyés : la ligature du col qui contraint les vaisseaux, les efforts qui se font sur cette partie, tant par le poids du corps que par celui qu'on y ajoute, les coups & les différents mouvements que l'exécuteur emploie pour hâter le supplice : si malgré tout cela il se trouve encore de temps en temps quelques-uns de ces malheureux qui reprennent vie (*a*), je serois tenté de croire qu'on pourroit sauver beaucoup de noyés, qui ont été peu de temps dans l'eau, que l'on juge morts sur des signes assez souvent équivoques ou que l'on achève de faire périr par

X. LEÇON.

(*a*) Ces sortes de suppliciés échappent à la mort, ou parce que l'étranglement a trop peu duré, pour éteindre entiérement en eux le principe de la vie, ou parce que la corde, au lieu de serrer les anneaux de la trachée, a porté son effort sur le cartilage *Scutiforme*, qu'on nomme vulgairement le nœud de la gorge, & qui est capable d'une très-grande résistance dans certains sujets ; au moyen de quoi la respiration n'a point été entiérement interrompue.

X. LEÇON.

ces secours mal entendus. J'appelle secours mal entendus, de les tenir suspendus, la tête en bas, & souvent dans un air froid ; il seroit mieux d'essayer à ranimer le sang par une chaleur douce, par des liqueurs spiritueuses, par des frictions, & de les tenir dans une situation naturelle & commode (*a*) ; car ils ont avalé peu d'eau, & ce qu'ils en ont dans l'estomac n'est pas le mal le plus pressant ou le plus réel.

Si la respiration manque aux animaux dans le vuide, ou dans un air considérablement raréfié, elle devient pénible aussi dans un air condensé au-delà de son état ordinaire. MM. Derham & Muschembroek ont mis des oiseaux & des poissons dans un air deux ou trois fois plus condensé qu'il ne l'est communément par le poids de l'atmosphere, & ces animaux pour la plupart y ont péri en 5 ou 6 heures : on ne doit pas douter qu'on ne leur ait fait violence, en rompant ainsi l'équilibre entre l'air intérieur de leur

(*a*) On prétend que la cendre de bois neuf appliquée pendant quelque temps sur tout le corps du noyé, peut le rappeller à la vie.

corps, & celui qui les environnoit, & qu'ils n'euſſent eu beaucoup plus à ſouffrir encore, s'ils euſſent été mis dans un air exceſſivement comprimé. Mais on ne croira pas qu'une double ou une triple condenſation ait été la principale cauſe de leur mort, lorſqu'on ſaura, que des animaux des mêmes eſpeces ne vivent guere plus long-temps dans un air qui a la denſité & la température de l'atmoſphere, s'il lui manque ſeulement d'être renouvellé.

X. LEÇON.

C'eſt un fait conſtaté par l'expérience, & que les Phyſiciens expliquent de diverſes façons. Les uns prétendent (& c'eſt le plus grand nombre) que l'air qui a été reſpiré, eſt chargé des vapeurs & des exhalaiſons, dont il a purgé le viſcere; & qu'il ne peut plus être reſpiré en cet état, ſans cauſer une ſurabondance de ces parties nuiſibles qui arrêtent la circulation, & qui ſuffoquent l'animal. Les autres penſant avec raiſon que l'air n'eſt propre à la reſpiration qu'autant qu'il eſt élaſtique, croyent qu'il perd une grande partie de ſon reſſort, par le ſéjour qu'il fait dans les poulmons, ou dans

X. LEÇON.

les vaiſſeaux ſanguins ; & qu'ainſi, pour le reſpirer ſainement, il faut, ou qu'il ſe renouvelle, ou qu'il ſoit purgé des parties hétérogènes dont il paroît viſiblement chargé au moment de l'expiration. On peut conſulter à ce ſujet tout ce qui eſt rapporté par M. Hales dans ſa *Statique des végétaux*, *c. 6. Exp. 107. & ſuiv.* où l'on trouvera des obſervations fort curieuſes.

Quoi qu'il en ſoit, c'eſt agir prudemment que de ne ſe point expoſer dans un air que l'on ſoupçonne d'être infecté d'une grande quantité d'exhalaiſons, ſur-tout de celles qui ſont ſulfureuſes. Les cloaques qui ont été long-temps fermés, les ſouterreins qui avoiſinent les minieres, les lieux clos où l'on a tenu du charbon allumé, les celliers mêmes dans leſquels fermentent les vins nouveaux ou la bierre, ſont extrêmement dangereux *. On en peut juger par cette fameuſe grotte d'Italie, dans laquelle un chien, ou tout autre animal, ne peut demeurer une minute ſans être ſuffoqué ; par cet accident auſſi funeſte que mémorable * arrivé à Chartres dans la cave d'un Boulanger, où ſept perſonnes furent étouffées

* *Camerarius, in Ep Taurinenſibus.*

* *Hiſt. de l'Acad. des Scienc. 1710, pag. 71.*

étouffées subitement l'une après l'autre, par la vapeur de la braise ; enfin par quantité d'ouvriers qu'on fait avoir péri de cette maniere, soit en fouillant des fosses, soit en nétoyant de vieux puits. L'usage des poëles même peut être pernicieux, sur-tout dans les commencements, lorsqu'ils sont de fer ou de cuivre, & qu'on les chauffe fortement ; ce dernier métal sur-tout peut jetter dans l'air des exhalaisons très-nuisibles. X. LEÇON.

Non-seulement on doit éviter cet air empoisonné, dont les effets sont si prompts ; mais la prudence pourroit aller jusqu'à purifier, ou renouveller au moins, celui qu'on est obligé de respirer. Pourquoi, par exemple, ne prendroit-on pas cette peine pour des vaisseaux, pour des salles de spectacles, pour des mines, pour des Hôpitaux ? Plusieurs Physiciens fort habiles * en ont fourni les moyens, & les épreuves en ont été faites avec succès. Je crois même que des personnes qui restent 9 ou 10 heures au lit, devroient avoir l'attention de n'y être point enveloppées de rideaux fort épais, & qui se ferment fort exacte-

* *Desaguilers, Transf. Phil. n* 407. *Hales, descrip. du Ventilateur, par le moyen duquel, &c. traduit en Fr. par M. Demours.*

X. LEÇON.

ment ; car il n'eſt pas ſain de demeurer ſi long-tems dans une petite maſſe d'air qui ne ſe renouvelle point aſſez, & dont la pureté ne ſauroit manquer d'être fort altérée, par la tranſpiration inſenſible & par la reſpiration.

Si l'on pouvoit purifier l'air avec autant de facilité qu'on le peut renouveller, il n'eſt pas douteux qu'on ne le dût faire avec ſoin dans bien des occaſions, & nous ſerions trop heureux, s'il ne s'agiſſoit que d'en faire connoître l'utilité. Jugeons de notre élément, comme nous le faiſons de celui des poiſſons ; ſi l'eau d'un vivier ou d'un étang devient infecte, ne voit-on pas languir le poiſſon ; & la mortalité ne s'y met-elle pas en peu de temps ? A quoi devons-nous attribuer les maladies épidémiques, dont les ſymptômes ſont les mêmes dans des ſujets qui vivent tout différemment les uns des autres, dans un enfant, dans un adulte, dans un Prince, dans un Payſan, &c. eſt-ce à la nourriture, au genre de vie, à l'âge, au tempérament ? N'eſt-ce pas plutôt aux qualités actuelles de l'air qu'ils reſpirent tous en commun ? Ne voit-on pas ces

sortes de contagions se communiquer souvent, ou se dissiper par les vents, ou par d'autres changements qui arrivent dans l'atmosphere ?

X. LEÇON.

Boyle * fait mention d'une liqueur très-volatile, dont Drebell se servoit, dit-on, pour purifier l'air dans une espece de vaisseau qu'il avoit imaginé pour aller entre deux eaux ; (car on savoit déja, qu'un air qui avoit été respiré, devenoit, en peu de temps, incapable de l'être davantage :) on trouve des Auteurs * qui disent avoir vu le vaisseau, qui l'ont même imité avec peu de succès, & dont le témoignage ne nous fait point regretter cette invention. Mais pour la liqueur, qui méritoit bien des éloges, & dont on pourroit tirer de grands avantages si le secret n'en étoit point mort avec son auteur, personne ne dit l'avoir vue, je crois qu'il est très-permis de douter au moins de cette merveille.

* *Exp. physico-mechan. Exp.* 41.

* *Papin, Rec. de diverses pieces, &c. édition de* 1695.

Si l'on peut se flatter de purger l'air, je pense qu'on n'y parviendra que par une sorte de filtration, en l'obligeant de passer par quelque matiere, où il puisse déposer ce qu'il contient d'é-

X. LEÇON.

tranger ; mais il faut pour cet effet que ce dont on veut le dépouiller, soit de nature à s'attacher plus fortement au filtre qu'aux parties de l'air ; la connoissance de cette analogie doit être le fruit d'un grand nombre d'expériences délicates, & d'observations bien méditées ; mais l'objet est important, & plusieurs habiles maîtres * ont déja fait à cet égard quelques essais qui flattent nos espérances : c'est en cédant à cette considération, que j'ai hazardé de proposer un instrument pour laver l'air, & pour recueillir les matières dont il peut être chargé. *Voyez les Mémoires de l'Académie des Sciences, pour l'année* 1741, *pag.* 335. *& suiv.*

* *Hales, Stat. des végét. chap. 6, exp.* 116. *Muschenbroeck, orat. mech. institut. Exp. Phys. p.* 28.

IL y auroit encore bien des choses à dire des propriétés de l'air, & de ses usages par rapport à la respiration, & à la maniere dont il influe sur la vie des animaux ; mais ces détails, quelqu'intéressants qu'ils soient, ne peuvent avoir lieu que dans un traité, où l'on auroit entrepris de faire entrer tout ce qui est contenu touchant ce fluide : les bornes que je me suis prescrites dans ces Leçons, ne me permettant pas de m'étendre davantage sur

cette partie, je passe à une autre propriété de l'air, qui est encore fort importante, par les applications qu'on en peut faire. Je vais prouver par des faits, que les matieres les plus combustibles ne peuvent s'enflammer que dans un air libre; & que quand elles le sont, elles s'éteignent promptement dans le vuide. X. LEÇON.

XII. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

Il faut placer sur la platine d'une machine pneumatique, & sous un grand récipient, une grosse chandelle bien allumée, *Fig.* 30, & faire agir la pompe.

EFFETS.

A mesure qu'on raréfie l'air, la flamme diminue de volume, & après quelques coups de piston, elle s'éteint tout à fait.

XIII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

A, *B*, *Fig.* 31, sont deux pierres à fusil portées par deux petits montants

X. LEÇON.

à reſſort, qui ſont établis ſur la platine d'une machine pneumatique; par le moyen d'un petit chaſſis de métal, qui eſt fixé au centre, & dans lequel ils gliſſent pour s'approcher plus ou moins l'un de l'autre; *C*, eſt une de ces boîtes à cuirs, dont nous avons parlé ci-deſſus, & dont la tige eſt engagée d'une part dans l'axe de la poulie *D*, & porte à ſon autre extrémité, & entre les deux pierres, une rondelle d'acier trempé, imparfaitement arrondie. Lorſqu'on fait tourner la grande roue *E F*, le mouvement ſe communique par les poulies de renvoi *G*, *G*, *D*, juſqu'en *C*, & ſe tranſmet par la tige dans le récipient, & la rondelle d'acier frottant alors rudement contre les deux pierres qui ſont tranchantes, fait l'office d'un véritable briquet.

EFFETS.

Tant que l'air du récipient eſt dans ſon état naturel, le frottement de l'acier contre les pierres fait naître un grand nombre d'étincelles très-brillantes: à meſure que l'air ſe raréfie par l'action de la pompe, ces étincelles

deviennent moins nombreuſes & moins éclatantes ; lorſque l'air arrive à ſes derniers degrés de raréfaction, à peine en apperçoit-on quelques-unes, qui n'ont plus alors qu'une couleur rouge & morne : enfin quand le vuide eſt auſſi parfait qu'il peut l'être, il n'en paroît plus aucune ; mais elles recommencent à paroître auſſi-tôt que l'on a rendu l'air dans le récipient.

XIV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Dans un grand récipient, *Fig.* 32, garni comme le précédent d'une boîte à cuirs, on établit de la même maniere que les pierres à fuſil, un petit chaſſis de métal, dans lequel ſe meut ſur deux pivots la phiole de verre *H* ; on met dans ce petit vaiſſeau quelques grains de poudre à canon ; & au centre de la platine, ſur un morceau de tuile ou de brique, un vaſe fort épais de cuivre rouge *K*, que l'on a fait chauffer juſqu'à rougir : on fait le vuide promptement ; & lorſque l'air eſt extrêmement raréfié, en abaiſſant la tige *I*, on appuie ſur le goulot de la

phiole qui s'incline, & qui jette la poudre dans le vaſe ardent.

X. LEÇON.

EFFETS.

La poudre, au lieu de s'enflammer & de faire ſon exploſion ordinaire, ſe diſſipe en fumée & ſans éclat; ou bien, il ne paroît tout au plus qu'une petite flamme bleue & rampante.

EXPLICATIONS.

C'eſt une opinion reçue en Phyſique, que la flamme conſiſte dans un mouvement de vibration imprimé aux parties du corps combuſtible, qui ſe diſſipent ſous la forme d'un fluide extrêmement ſubtil. Si l'on admet cette ſuppoſition, que nous examinerons lorſque nous traiterons de la nature du feu, on conçoit aſſez aiſément pourquoi les corps ne s'enflamment point dans le vuide, & pourquoi la flamme s'y éteint; car un mouvement de vibration ne peut durer que dans un milieu à reſſort, capable d'une réaction qui l'entretienne: ainſi la chandelle s'éteint peu-à-peu, à meſure qu'on raréfie l'air du récipient, parce que le reſſort du fluide environnant diminue comme

Fig. 30.

la denſité, & que les vibrations de la flamme n'éprouvent plus aſſez de réaction de ſa part. Par la même raiſon, la poudre que l'on fait tomber ſur du métal ardent, ne produit que de la fumée dans le vuide, ou tout au plus une flamme très-foible, qui périt dans l'inſtant.

X. LEÇON.

Il eſt à propos d'avertir cependant, que cette derniere épreuve ne doit ſe faire qu'avec quelques grains de poudre ſeulement, comme on l'a marqué dans l'article de la préparation; car le ſoufre & le ſalpêtre brûlés produiſent dans le récipient de l'air, ou un fluide qui eſt élaſtique comme lui; & ſi l'on en employoit une certaine quantité, ce qui tomberoit à la fin dans le vaſe ardent, ſeroit infailliblement enflammé, & pourroit éclater avec danger.

Les étincelles qui naiſſent du choc de l'acier contre des cailloux tranchans, ſont des particules du métal qui ſe détachent de la maſſe par la violence du coup, qui s'échauffent juſqu'à rougir & le plus ſouvent juſqu'à ſe fondre; c'eſt ce dont il eſt facile de ſe convaincre, en les recevant ſur un papier blanc que l'on examine enſuite avec un microſcope; car tous ces

X. LEÇON. petits morceaux d'acier paroiſſent comme autant de petites boules fort liſſes, ce qui dénote viſiblement qu'ils ont été mis en fuſion, & qu'ils ſe ſont arrondis, comme toutes les matieres liquides qui nagent en petite quantité dans un milieu fluide.

On peut remarquer que pluſieurs de ces étincelles éclatent en l'air, & repréſentent un feu beaucoup plus brillant que les autres; ce ſont celles qui paſſent la fuſion, & qui s'enflamment juſqu'à diſſipation de parties; on les diſtingue aiſément ſur le papier par leur couleur qui eſt plus brune, & parce qu'elles ſont friables comme le mâche-fer.

M. Muſchenbroek, après Boyle, M. Hughens & pluſieurs autres Phyſiciens, a fait une grande quantité d'épreuves ſur l'inflammation des corps dans le vuide, dont on peut voir le détail dans ſes Commentaires ſur les expériences de Florence, *pag.* 74 & *ſuiv.* Cette lecture ne peut être que fort utile à ceux qui s'appliquent à la Phyſique; & c'eſt avec regret que je me diſpenſe de les rapporter ici.

APPLICATIONS.

X. LEÇON.

Puiſque la flamme ne peut naître ni s'entretenir que dans un milieu à reſſort, on ne doit point être ſurpris qu'une bougie allumée ou un charbon ardent s'éteignent, lorſqu'on le plonge dans des liqueurs les plus inflammables, comme l'eſprit-de-vin & les huiles; & que l'une ou l'autre mette tout d'un coup le feu à ces mêmes liqueurs, lorſqu'elles ſont réduites en vapeurs.

Car dans ce dernier état elles ſont mêlées avec l'air, & elles forment avec lui un fluide élaſtique, capable, par conſéquent, d'une réaction telle qu'il la faut pour entretenir l'inflammation; au lieu que dans l'état de liqueurs elles ſont ſi peu compreſſibles, qu'on doit les regarder comme dépourvues du degré d'élaſticité néceſſaire.

Le feu brûle beaucoup mieux, & le bois ſe conſume bien plus promptement pendant les grands froids qu'en tout autre temps, apparemment parce que l'air eſt plus denſe, & qu'il a plus de reſſort; & au contraire on remarque qu'un réchaud plein de charbon allumé s'éteint bientôt, s'il eſt expo-

sé aux rayons du soleil, sur-tout pendant l'été.

X. LEÇON.

Que doit-on croire de ces lampes sépulchrales des anciens, lesquelles, si l'on en croit quelques Auteurs, brûloient pendant plusieurs siecles sans s'éteindre? Un feu qui ne consume point son aliment, & qui s'entretient dans des lieux où l'air ne se renouvelle point, pleins de vapeurs grossieres, est une merveille dont il faudroit constater l'existence, par des preuves plus positives que toutes celles qu'on en a, avant que de faire les frais d'une explication qu'on auroit bien de la peine à rendre plausible. Car ce n'est point assez qu'il y ait de l'air autour des matieres enflammées, pour entretenir le feu, il faut encore que cet air soit libre & qu'il ait une certaine pureté: voilà pourquoi les incendies cessent ordinairement, quand ils commencent dans des lieux qu'on peut boucher de toutes parts, si d'ailleurs leurs parois sont capables de résister aux efforts de l'air & des vapeurs qui se dilatent au-dedans.

Quoiqu'un air renouvellé entretienne la flamme & anime l'embrasement,

cependant le souffle de la bouche ou le vent éteint une bougie, parce qu'il dissipe les parties de la flamme, & qu'il sépare le feu de son aliment : toutes les fois que cette dissipation n'a point lieu, l'inflammation, bien loin de cesser, ne fait qu'augmenter.

X. LEÇON.

Je dois avertir aussi, qu'on ne doit tenter les inflammations dans le vuide qu'avec beaucoup de précautions, sur-tout celles qui doivent naître de la fermentation : car comme les liqueurs propres à cet effet sont d'autant plus actives, qu'elles sont moins gênées par le poids de l'atmosphere, leur explosion doit être naturellement plus violente dans le vuide, qu'ailleurs ; soit qu'elles produisent, en fermentant, une grande quantité d'air dont le ressort se déploie à l'instant, comme l'ont pensé quelques Physiciens *; soit qu'étant réduites en vapeurs, elles se dilatent elles-mêmes par leur propre embrasement. Quoique je ne désapprouve pas la premiere de ces deux explications, je crois pourtant qu'on trouvera plus de vraisemblance dans la derniere, quand j'aurai fait voir ailleurs les prodigieux efforts dont

* *Stare, dans les leç. de Phyſ. de Cotes, 16. leçon.*

les vapeurs dilatées ſont capables.

X. LEÇON. Juſques ici nous avons parcouru les principales propriétés de l'air qui environne les corps : mais ce fluide ſe rencontre auſſi dans leur intérieur ; il en remplit les vuides ; il entre, pour ainſi dire, dans leur compoſition, comme l'eau d'un étang ou d'une riviere pénetre dans le bois, dans les pierres qui y ſont plongées, & tient une place dans les concrétions qui s'y forment.

Dans quelque état que ſoient les corps, on y trouve de l'air : les liqueurs en contiennent beaucoup, les corps ſolides, pour la plupart, en ont encore davantage ; & ce qu'il y a d'admirable, c'eſt que, dans ceux-ci ſurtout, la quantité d'air qui s'y trouve renfermée ſurpaſſe aſſez ſouvent 100 ou 150 fois leur volume, quand il eſt dégagé, & qu'il n'eſt plus retenu que par le poids de l'atmoſphere.

On peut ôter l'air d'un corps de quatre manieres différentes ; 1^ment^, en le tenant quelque temps dans le vuide ; 2^ment^, en le faiſant chauffer fortement ; 3^ment^, en le diviſant & en déſuniſſant ſes parties, par voie de fermen-

tation, de diſſolution, ou de diſtillation; 4ment enfin, en les faiſant paſſer de l'état de liquidité à celui de ſolidité, comme lorſqu'on fait geler de l'eau. Les deux premiers moyens, & peut-être le quatrieme, ne dégagent que les parties les plus groſſieres de l'air, je veux dire, celui qui eſt dans les pores les plus ouverts & qui a une diſpoſition plus prochaine à s'étendre & à ſe dilater. Par le troiſieme procédé, on ſépare les moindres parties, celles qu'une extrême ténuité rend preſqu'inflexibles, & qui ne deviennent ſenſiblement élaſtiques, que quand elles ſe ſont réunies pluſieurs enſemble, pour former des globules un peu plus groſſiers : car on peut croire que les petites lames qui compoſent une maſſe d'air, ne ſont pas des corps ſimples, mais des petits compoſés d'élémens plus courts, & qu'elles ſont d'autant plus roides qu'elles ſont plus diviſées, comme une lame d'acier perd de ſa flexibilité à meſure qu'on diminue ſa longueur. Il peut ſe faire que l'air qui entre dans la compoſition des mixtes, & qui concourt à la formation de leurs parties intégran-

X. LEÇON.

tes, soit divisé jusqu'à ses particules élémentaires, & qu'il soit par cela même bien différent de celui qui ne fait que remplir les vuides ou les pores de ces mêmes matieres.

X. LEÇON.

C'est à cet air extrait des corps que Boyle, & après lui M. Hales, ont donné le nom de *Factice*; non pas qu'ils aient cru qu'on pût faire de l'air par la conversion d'une matiere en une autre, mais parce que celui qui existe dans un corps quelconque, & qui est intimement mêlé avec lui, se revivifie ordinairement par les secours de l'art. On peut voir dans les ouvrages même de ces deux Auteurs *, le détail des expériences qu'ils ont faites sur cette matiere, & les conséquences qu'ils en ont tirées. Je me bornerai ici à quelques exemples qui pourront suffire, pour donner une idée de cet air factice, des qualités qu'il a, & des effets dont il est capable.

* *Boyle, expériment. Phys. Méch. continuat.* 21. *Hales, stat. des végét. ch.* 6. & *dans l'appendice Exper.* 2. & *suiv.*

XV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut mettre dans un gobelet de verre, avec de l'eau claire, un mor-

ceau de bois ou de pierre, une noix, un œuf, ou tout autre corps ſolide & fort poreux, de maniere qu'il ſoit entierement plongé ; ce qui ſe fera facilement par le moyen d'un plomb qu'on y joindra, ſi les matieres qu'on doit plonger ſont plus légeres que l'eau. On couvre le tout d'un récipient ſur la platine de la machine pneumatique, & l'on fait agir la pompe pour raréfier l'air. *Fig.* 33.

X. LEÇON.

EFFETS.

A chaque coup de piſton, on peut remarquer qu'il ſort une grande quantité de bulles d'air du corps plongé ; & lorſqu'on l'ouvre après cette épreuve, on le trouve pénétré & rempli d'eau, plus qu'il ne le pourroit être par une ſimple immerſion.

EXPLICATIONS.

L'air qui eſt renfermé dans les pores du bois, de la pierre, &c. eſt pour le moins auſſi denſe que celui de l'atmoſphere dont il a coutume de ſoutenir le poids : quand on ſupprime cette preſſion, ou qu'on la diminue par l'action de la pompe, cet air ſe di-

X. LEÇON.

late en vertu de ſon reſſort, ſon volume augmente, & ne pouvant plus ſe loger dans ces petits eſpaces où il eſt, il s'échappe dans l'eau, & devient viſible ſous la forme de petits globules, qui s'élevent promptement à cauſe de leur légéreté reſpective.

L'air qui paſſe du corps ſolide dans l'eau qui l'entoure, ſe met en petites boules, & cet effet arrive en général à tout fluide qui ſe trouve plongé dans un autre fluide avec lequel il a peine à ſe mêler; apparemment parce que ſes parties également preſſées de toutes parts tendent à un centre commun. Je ſais bien qu'on objecte contre cette raiſon, que les gouttes d'eau ou de mercure demeurent arrondies dans le vuide de Boyle; mais je ſais bien auſſi que ce vuide n'en eſt point un à proprement parler, & que tout ce qu'on peut prétendre, c'eſt que la preſſion y ſoit moindre qu'ailleurs : mais l'effet dont il s'agit dépend bien moins d'une preſſion plus ou moins grande, que d'une preſſion égale de toute part, qu'on ne ſauroit nier dans un vaiſſeau où l'on ſait que l'air groſſier n'eſt que raréfié, & dans lequel tout le monde

convient qu'il y a toujours un fluide, indépendamment de celui qu'on fait sortir par le moyen de la pompe.

Lorsqu'on fait rentrer l'air dans le récipient, l'eau du gobelet se trouve plus comprimée qu'elle ne l'étoit dans l'air raréfié ; elle s'appuie par conséquent davantage sur toute la superficie du corps plongé. L'air qui a été raréfié dans les pores de celui-ci obéissant à cette nouvelle pression, se resserre dans un moindre espace, & l'eau va occuper les vuides qu'il a laissés. Voilà pourquoi ces corps étant ouverts après l'expérience, paroissent pénétrés ou remplis d'eau.

XVI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On place, sous le récipient d'une machine pneumatique, un gobelet de verre plus long que large, & rempli jusqu'aux deux tiers de biere, de lait, d'esprit-de-vin, ou d'eau un peu tiede, & l'on fait agir la pompe.

EFFETS.

A mesure que l'air du récipient se

X. LEÇON.

raréfie, celui qui eſt contenu dans la liqueur ſe dégage, & s'éleve à la ſurface en forme de bulles qui augmentent de plus en plus en nombre & en grandeur : celles de l'eſprit-de-vin & de l'eau font une ébullition qui dure quelque temps ; & ſi l'on continue de faire le vuide, cet effet ceſſe enfin, & l'on ne voit plus ſortir d'air : la biere & le lait s'élevent en mouſſe, & ſe répandent hors du vaiſſeau. *Voyez la Fig.* 34.

EXPLICATIONS.

C'eſt encore en ſupprimant la preſſion de l'air extérieur, qu'on donne lieu à celui qui eſt répandu dans la liqueur de ſe dégager ; car n'étant plus chargé comme auparavant, il acquiert un plus grand volume, & ſa légéreté reſpective plus puiſſante alors que le frottement & les autres cauſes qui tendent à le retenir, ne manquent pas de l'élever vers la ſurface.

Plus la liqueur eſt facile à diviſer, plus les bulles d'air s'élevent promptement, plus elles s'agrandiſſent auſſi, parce qu'elles trouvent moins de réſiſtance à vaincre pour s'étendre : c'eſt

pourquoi, lorſque le récipient eſt évacué à un certain point, l'eſprit-de-vin & l'eau tiede qui ſont très-fluides, laiſſent tout d'un coup échapper leur air qui les ſouleve en gros bouillons. La biere & le lait au contraire étant des liqueurs viſqueuſes, ne ſe diviſent que difficilement : les bulles d'air qui s'y forment, demeurent enveloppées de véſicules, & ne s'élevent que lentement ; & comme ces véſicules ne ſont autre choſe que les parties mêmes de la liqueur qui ont peine à ſe ſéparer, les bulles d'air, en les emportant, vuident le vaiſſeau.

X. LEÇON.

APPLICATIONS.

Bien des perſonnes s'imaginent que tous les corps généralement ſe conſervent très-long-temps dans le vuide ; mais il y a beaucoup à rabattre de ce préjugé. Il eſt vrai que ceux qui ſont de nature à ſe décompoſer par l'évaporation d'une partie de leur ſubſtance, ou à ſe corrompre par l'humidité qui pourroit les pénétrer, périſſent ordinairement moins vîte dans le vuide que dans l'air libre, parce qu'ils ne ſont plus entourés d'un fluide qui fait,

X. LEÇON.

comme nous l'avons dit *, la fonction d'une éponge ou d'un abſorbant, & qui eſt toujours chargé de quelques vapeurs : mais il n'en eſt point ainſi de ceux qui portent en eux-mêmes un principe de fermentation ; car, 1ment, en perdant l'air qui remplit leurs pores, le mouvement inteſtin de leurs parties n'en devient que plus libre ; 2ment, cette liberté augmente encore par la ſuppreſſion du poids ou du reſſort de l'air extérieur ; ce qui me fait croire que les matieres de cette derniere eſpece ſe conſerveroient mieux dans un air comprimé que dans le vuide.

* *Tome II, page 121 & ſuiv.*

Le vin de Bourgogne qui a paſſé les Alpes n'a pas le même corps que celui qu'on boit en France ; il paroît moins coloré & plus pétillant : ne ſeroit-ce point parce qu'il auroit un peu travaillé en paſſant ſur les hautes montagnes où la preſſion de l'atmoſphere étant moins grande qu'elle ne l'eſt dans la plaine, a pu donner lieu à quelque commencement de fermentation ? Ce qui me le feroit ſoupçonner, c'eſt qu'ayant tenu dans un air un peu raréfié, & pendant quelques jours, une

bouteille de vin, au bouchon de laquelle j'avois pratiqué un petit trou, il me parut un peu défait, & à-peu-près ſemblable à celui que j'avois goûté en Piémont. Je dois ajouter cependant que pluſieurs perſonnes dignes de foi m'ont aſſuré, que le vin de Bourgogne qui va par mer en Italie, eſt ſujet à de pareils changements : le même effet peut être produit par différentes cauſes.

X. LEÇON.

L'air qui ſe dégage d'une liqueur en augmente néceſſairement le volume juſqu'à ce qu'il en ſoit entiérement ſorti, parce que les globules inſenſibles qui étoient logés dans les pores, ſe réuniſſant pluſieurs enſemble, forment des maſſes plus grandes qui occupent de nouvelles places dans la liqueur : de même que ſi l'eau qu'on fait entrer, comme on ſait, ſans difficulté dans un verre plein de cendres ou de ſable, ſe convertiſſoit tout d'un coup en pluſieurs petits glaçons de la groſſeur d'une tête d'épingle, on conçoit bien que les deux matieres ne pourroient plus être contenues dans le même vaſe. L'air ſe dégage auſſi dans les liqueurs qui fermentent, & l'effort

qu'il fait pour en augmenter le volume, fait ſouvent caſſer les vaiſſeaux qui les contiennent.

X. LEÇON.

IL eſt inutile de propoſer ici aucune expérience, pour prouver qu'on peut faire ſortir l'air d'une matiere, en la faiſant chauffer fortement ; nous avons tous les jours ſous les yeux aſſez d'exemples de cette ſeconde méthode, dans la préparation de nos aliments ; on entend, & l'on voit même ſortir l'air des viandes & des fruits qu'on fait cuire, du bois verd qu'on met au feu, de l'eau, & des autres liqueurs que l'on fait bouillir. Les premiers bouillons doivent être attribués aux parties les plus groſſieres de l'air, qui, dilatées par la chaleur dans un fluide qui ſe dilate lui-même, augmentent en volume, & ſoulevent avec violence ce qui s'oppoſe à leur extenſion & à leur aſcenſion. Je dis les premiers bouillons ; car je ferai voir, en parlant du feu & de ſes effets, qu'une liqueur qui continue de bouillir juſqu'à ce qu'elle ſoit entiérement évaporée, ne le fait pas en vertu d'une quantité d'air aſſez conſidérable pour fournir juſqu'à la fin. Mais quand l'air

ſort

sort d'une liqueur que l'on fait chauffer, on voit à-peu-près le même effet que dans le vuide ; les bulles qui se forment, ont d'autant plus de peine à se dégager, que la matiere qui les enveloppe est plus difficile à rompre ou à étendre : elles se dégagent donc & s'élevent plus lentement dans du lait que dans de l'eau, & l'action du feu qui tend à les dilater agit plus longtemps sur chacune, & en même temps sur un plus grand nombre ; c'est pourquoi ces sortes de liqueurs, le beurre, les résines & les gommes fondues, se gonflent peu-à-peu, & surprennent, par des effervescences subites & assez souvent dangereuses, ceux qui les font chauffer avec trop peu d'attention.

X. LEÇON.

A peu près comme l'eau sort d'une éponge mouillée que l'on presse, l'air se dégage de toutes les matieres dont les parties se rapprochent & se condensent fortement : on s'en apperçoit rarement dans les solides, parce qu'étant communément plongés dans l'air de l'atmosphere, celui qui sort de leur intérieur se mêle immédiatement avec un fluide semblable à lui-même, & qui empêche par cette raison, qu'on

X. LEÇON.

ne le distingue : ce n'est qu'en pressant ces corps dans l'eau, ou dans quelqu'autre liqueur, qu'on peut s'assurer de l'effet dont il est question.

Les liquides qui se gelent, se désaisissent aussi de l'air qu'ils contiennent, à mesure que leurs parties se rapprochent ; & quand cet air qui étoit disséminé dans les pores en particules insensibles, s'en trouve exclus, il se rassemble en plusieurs bulles, & prend différentes formes dans la masse, s'il s'y trouve renfermé & retenu par les progrès trop rapides de la congélation. Je pourrois appeller en preuves les phénomenes de la glace ; mais il sera temps d'en faire mention lorsque je traiterai de l'eau & de ses différents états.

Le dernier procédé, & celui qui est peut-être le plus efficace de tous, pour séparer l'air des matieres avec lesquelles il se trouve mêlé, c'est la division de leurs parties, sur-tout si cette division va jusqu'à les décomposer, comme il arrive ordinairement lorsqu'on fait putréfier, fermenter, distiller, ou brûler les corps mixtes.

Que la quantité d'air que l'on tire

ainſi, égale preſque le volume des corps d'où il ſort, c'eſt une merveille que l'on n'a dû croire que d'après l'expérience ; mais que cet air extrait, & ſoumis au poids de l'atmoſphere, ſurpaſſe un grand nombre de fois la grandeur de ces mêmes corps qui le contenoient, c'eſt ce qu'on ne peut apprendre ſans étonnement ; & l'on ſeroit tenté d'en douter, ſi les Auteurs les plus accrédités, de qui nous tenons cette découverte, n'avoient appuyé leurs témoignages ſur un détail bien circonſtancié de leurs épreuves. Celles de MM. Mariotte & Hales m'ont paru les plus déciſives ; c'eſt dans leurs écrits que j'ai puiſé les preuves ſuivantes : le lecteur qui prendra la peine de les chercher dans leurs ſources, y trouvera un grand nombre de faits, plus curieux les uns que les autres, & qui établiſſent de concert la doctrine que je viens d'expoſer.

XVII. EXPERIENCE.

PREPARATION.

LA *Fig.* 35. repréſente une taſſe de métal fort mince, au fond de laquelle

IX. LEÇON.

on a pratiqué un enfoncement que l'on emplit d'une groſſe goutte d'eau; on verſe enſuite de l'huile d'olives, juſqu'à la hauteur d'un travers de doigt, & l'on couvre la goutte d'eau d'un petit vaſe de verre qui a la forme & à peu-près la grandeur d'un dé à coudre, ayant attention qu'il ſoit plein d'huile, ce qu'il eſt aiſé de faire en l'inclinant dans la taſſe avant que de le placer debout.

EFFETS.

Si l'on tient la taſſe ſur une bougie ou ſur une lampe allumée, pour faire chauffer la goutte d'eau, 1°. il s'en éleve peu-à-peu une grande quantité de petites bulles d'air, qui, lorſque tout eſt refroidi, occupent dans le vaſe de verre, un eſpace plus grand (*a*) que le volume de la goutte d'eau d'où elles ſont ſorties: 2°. l'huile qui reſte dans le petit vaſe de verre, perd ſa tranſparence, en ſe refroidiſſant.

(*a*) M. Mariotte dit 8 *ou* 10 *fois plus grand*; cependant quoique j'aye répété cette expérience bien des fois, & avec ſoin, je n'ai jamais trouvé tant d'air au haut du petit vaſe.

EXPLICATIONS.

X. LEÇON.

A mesure que la goutte d'eau s'échauffe, les parties s'écartent un peu les unes des autres ; les pores ou petits intervalles qui sont entr'elles, se dilatent, les particules d'air qui se trouvoient retenues deviennent plus libres, & leur légéreté respective suffit alors pour les dégager entiérement, & pour les élever dans la partie supérieure du petit vase de verre. Mais ce qui aide encore davantage cette séparation, c'est que la même chaleur qui dilate la goutte d'eau, dilate aussi les petites bulles d'air, & leur volume considérablement augmenté les rend d'autant plus légeres, & par conséquent d'autant plus propres à s'élever au-dessus de l'eau & de l'huile. On peut ajouter encore que la liquidité de l'eau & de l'huile augmente par l'action du feu, que le frottement & la viscosité diminuent d'autant ; ce qui donne lieu aux bulles d'air de se dégager & de s'élever plus facilement.

La colonne d'huile qui couvre la goutte d'eau devient opaque, parce que la chaleur y éleve la vapeur de

X. LEÇON.

l'eau, qui se mêle aux parties de l'huile, & qui forme avec elles des molécules dont l'assemblage devient moins perméable à la lumiere : soit que les pores de ce liquide composé soient moins directs qu'ils ne le sont dans l'eau & dans l'huile séparément ; soit que ses parties deviennent trop grossieres. Cette derniere raison (qui n'exclut point l'autre) paroît d'autant plus probable, que cette même huile chargée d'eau & devenue opaque, reprend presque sa premiere transparence lorsqu'on la fait chauffer de nouveau, sans doute, parce qu'alors les parties atténuées par l'action du feu laissent à la lumiere un passage plus libre.

XVIII. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

LA préparation de cette expérience se fait à-peu-près comme celle de la précédente, excepté seulement qu'on emploie des vases plus grands, & qu'au lieu d'une goutte d'eau au fond de l'huile, on met dans de l'eau tiede un petit cylindre de sucre commun,

égal à la partie AB, prise intérieurement. *Fig.* 35.

X. LEÇON.

EFFETS.

A mesure que le suc se fond dans l'eau, on en voit sortir des bulles d'air qui s'élevent vers la partie supérieure du vaisseau ; & lorsque la dissolution est faite, la quantité d'air qui s'est élevée égale assez souvent les $\frac{2}{3}$ ou les $\frac{1}{4}$ de l'espace AB.

EXPLICATIONS.

L'eau chaude, en pénétrant dans le sucre, désunit ses parties, & les subdivise ; alors les petites bulles d'air qu'elles renfermoient entr'elles, étant comme isolées, s'élevent au travers de l'eau qui est toujours beaucoup plus pesante. La quantité de ces particules d'air varie selon la qualité du sucre, & la solution plus ou moins parfaite de sa masse : mais on peut toujours comparer le volume d'air qui est sorti, à celui du sucre qu'on a fait fondre, puisque l'espace AB sert de mesure commune à l'un & l'autre.

X. LEÇON.

XIX. EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut joindre la cornue *AB*, *Fig.* 36. dans laquelle on aura mis quelque matiere à diſtiller, au matras *AC*, avec quelque eſpece de lut qui ne ſe fonde point à une médiocre chaleur, & qui ne ſe diſſolve point non plus par une légere humidité. Ces deux vaiſſeaux étant ainſi joints, il faut faire entrer dans le col du dernier une branche du ſiphon *EDF*, par un trou pratiqué au fond du vaiſſeau; on plonge enſuite le matras & le ſiphon dans l'eau, afin que le premier s'empliſſe par *D*, juſqu'a la hauteur *F*; ce qui ſe fait aiſément par le moyen du ſiphon qui permet à l'air de s'échapper: on ôte enſuite ce ſiphon, & l'eau demeure ſuſpendue à la hauteur *F*, par la preſſion de l'atmoſphere qui agit ſur celle du bacquet. Enfin l'on chauffe la cornue, en poſant ſur un fourneau diſpoſé à une hauteur convenable. Si les matieres que l'on diſtille rendent de l'air, on s'en apperçoit, parce que le volume de celui qui eſt renfermé

renfermé en *AF*, augmente ; si au contraire elles en absorbent, comme il paroit en certains cas, on le voit aussi par la diminution de ce même volume d'air. Et si l'on veut comparer la quantité d'air rendu ou absorbé, à celle des matieres qu'on a mises dans la cornue, on le peut facilement en réduisant à une mesure connue, comme au pouce cubique, par exemple, ce qu'on met dans la cornue : car après la distillation, on pourra voir combien il faut de pouces cubiques d'eau pour remplir l'espace occupé par l'air, en plus au-dessous, ou en moins au-dessus de *F*.

Mais ce volume d'air que l'on veut mesurer, ne doit l'être que quand tout est refroidi au même degré que l'étoit celui de la partie *AF*, au moment que l'on a commencé l'expérience ; car on sait combien quelques degrés de chaleur de plus ou de moins peuvent faire varier les dimensions de ce fluide ; & pour n'avoir point d'erreur considérable à soupçonner à cet égard, il faudroit y avoir enfermé un petit thermometre très-sensible.

Une autre attention que l'on doit

X. LEÇON.

avoir encore, si l'on veut procéder avec exactitude, c'est de consulter la hauteur du baromètre, au commencement & à la fin de l'expérience, pour s'assurer si le poids de l'atmosphère n'a point varié pendant l'opération : car il est certain que le volume d'air contenu dans le col du matras doit augmenter ou diminuer, selon que l'eau y sera poussée plus ou moins haut, par la pression de l'air extérieur sur la surface du bacquet.

Enfin, s'il s'agissoit d'une exactitude scrupuleuse, on devroit considérer encore, que la colonne d'eau qui demeure au-dessus du niveau, ou qui est porté au-dessous par la quantité plus ou moins grande de l'air qui occupe le col du matras, empêche que cet air ne soit jamais d'une densité parfaitement égale à celle de l'air extérieur; mais heureusement, dans la plupart de ces épreuves, on peut se contenter d'un à-peu-près; & le Physicien doit souvent se mettre au-dessus des minuties, pour n'être point découragé dans ses recherches.

EFFETS.

X. LEÇON.

Par des procédés à-peu-près semblables à celui que je viens de décrire, M. Hales * ayant éprouvé toutes sortes de matieres animales, végétales & minérales, solides & liquides, a trouvé, par exemple, qu'un pouce cubique de sang de cochon, distillé jusqu'aux scories seches, produisoit 33 pouces cubiques d'air.

* Stat. des Veget. ch. 6.

Que la moitié d'un pouce cubique de la pointe des cornes d'un daim, donnoit 117 pouces cubiques d'air; ce qui faisoit un volume 234 fois aussi grand que celui de la matiere distillée.

Que d'un demi-pouce cubique de bois de chêne, il en sortoit 128 pouces cubiques d'air.

Que d'un pouce cubique de terre vierge, il vint à la distillation 43 fois autant d'air.

Le même Auteur trouva que l'eau-forte, le soufre, & plusieurs autres matieres, bien loin de rendre de l'air, en absorboient; c'est-à-dire, qu'après la distillation, le volume d'air contenu en *AF*, se trouvoit moins

grand qu'il n'étoit avant l'expérience.

X. LEÇON.

EXPLICATIONS.

Lorsqu'on distille une matiere, l'action du feu divise ses parties, les réduit, & les éleve en vapeurs. Les particules d'air qui se trouvent dans la masse demeurant isolées par sa division, & par son évaporation, s'unissent avec le volume d'air qui est renfermé dans la cornue & dans le col du matras, & ce volume est d'autant augmenté : de-là il arrive que la surface de l'eau baisse communément au-dessous de *F*.

Mais si la matiere que l'on distille est de telle nature que l'air s'unisse à elle plus facilement & plus fortement qu'il ne peut s'unir avec d'autre air, non-seulement cette matiere ne se désaisit point des particules d'air qu'elle contient ; mais acquérant plus de surface par sa division, elle s'approprie encore de nouvelles parties d'air en passant par l'espace *AF* ; & l'eau s'éleve d'autant, pour occuper la place de l'air absorbé.

Ce que l'on a de la peine à comprendre, c'est qu'il puisse se loger une

si grande quantité d'air dans certaines matieres, sans qu'il y paroisse comprimé, autant qu'il faudroit qu'il le fût, si l'on vouloit le réduire à un aussi petit volume, lorsqu'une fois il est dégagé ; car quelle force ne faudroit-il pas pour restreindre dans l'espace d'un demi-pouce cubique 234 fois autant d'air semblable à celui de l'atmosphere ?

Ce phénomene nous apprend que l'air intimement mêlé à d'autres matieres, y est dans un état tout différent de celui où nous le voyons lorsqu'il en est dégagé ; quel est donc cet état de l'air dans l'intérieur des corps ? & comment en reçoit-il un autre lorsqu'il se dégage ?

On peut supposer, comme l'ont fait plusieurs habiles Physiciens * de nos jours, que les parties de l'air, lorsqu'il est intimement mêlé à quelqu'autre matiere, ne se touchent plus ; & qu'elles sont immédiatement appliquées aux parties même du corps qui les contient, comme pourroient être de petits poils ou des filets de coton qui envelopperoient, par exemple, des grains de sable, ou qui

* *M. de Mairan, Dissertat. sur la glace. Mariotte, Essais sur la nature & les propriétés de l'air.*

X. LEÇON.

seroient logés séparément dans les intervalles qui se trouveroient à remplir entre ces mêmes grains rassemblés en une masse : car quoique plusieurs brins de coton ensemble forment ordinairement un petit flocon flexible, & qui occupe un espace assez sensible, à cause de tous les vuides qui font partie de son volume; on conçoit bien cependant qu'il en occuperoit incomparablement moins par sa matiere propre, & si ses vuides remplis d'une autre substance ne contribuoient plus à sa grandeur. On doit convenir aussi que sa flexibilité, & par conséquent son ressort, seroit nulle, si chacun de ces petits filets étoit soutenu par un corps dur, comme il arriveroit infailliblement, si l'espace de l'un à l'autre étoit rempli par une matiere solide.

Cette hypothese est d'autant plus vraisemblable, que l'air ne paroît contribuer ni à la compressibilité des corps, ni à leur dilatabilité : l'esprit-de-vin des thermometres étant purgé d'air *, n'en paroît ni plus ni moins sensible à l'augmentation du froid ou du chaud : & les corps qu'on a tenus

* *Voyez les Mémoires de l'Acad. pour l'ann.* 1731. *p.* 267.

dans le vuide, n'en ſont pas moins compreſſibles, quoiqu'on en ait vu ſortir une quantité d'air aſſez conſidérable. L'air dans l'intérieur des corps, eſt donc, comme dit M. Hales, dans un état de fixité; & lors même qu'il s'en dégage, il n'acquiert point de reſſort, s'il emporte avec lui quelque ſubſtance étrangere qui l'empêche de ſe joindre à d'autre air, pour former de petits globules : car ce n'eſt que dans ce dernier état, qu'il peut être flexible & élaſtique.

X. LEÇON.

Ce raiſonnement, je l'avoue, eſt fondé ſur des faits inconteſtables; mais il en eſt d'autres, qui ne ſont ni moins certains ni moins connus, & qui nous portent à raiſonner tout autrement; lorſqu'une matiere paſſe dans le vuide, ou que l'action du feu ou d'un diſſolvant diminue, ou fait ceſſer la cohérence de ſes parties, on voit auſſi-tôt l'air s'en dégager; ne devons-nous pas penſer que cet air étoit dans l'état d'un reſſort tendu, & qu'il n'attendoit pour ſe déployer que la ſuppreſſion des obſtacles qui l'en empêchoient?

Voici ce que l'on peut dire pour

X. LEÇON.

concilier ces phénomenes qui semblent se contredire : l'air, dans la plûpart des corps, se trouve sous deux états différents ; les plus grands vuides, ces pores qui communiquent ensemble, le contiennent en globules, ou pour mieux dire, en petites colonnes que le poids de l'atmosphere a condensées, & qui, par la continuité de leurs parties, ont conservé la faculté de s'étendre & de se porter en dehors lorsque la pression extérieure vient à cesser ; l'autre air beaucoup plus divisé, ne remplit que des pores isolés plus petits, & la matiere qui l'environne a plus de cohérence qu'il n'a d'élasticité. Pour dégager le premier, il suffit ou d'augmenter fortement son ressort par la chaleur, ou de lever l'obstacle qui le tient tendu : ces deux moyens sont faciles ; 1ment, parce que le ressort de l'air s'anime d'autant mieux que son volume est plus grand ; 2ment, parce que les pores qui contiennent ces petites colonnes sont ouverts jusqu'à la surface. Il n'en est pas de même de l'autre air, il faut, pour l'extraire, diviser le corps jusques dans ses moindres parties ; &

comme on ſuppoſe ce fluide réduit preſque à ſes premiers éléments, on ne doit rien attendre de ſon reſſort, pour aider cette ſéparation. X. LEÇON.

A l'aide de cette ſuppoſition, je conçois comment l'air ne rend ni plus dilatables, ni plus compreſſibles les matieres avec leſquelles il eſt mêlé, quoiqu'il y jouiſſe de ſon élaſticité; car 1°. ſi les petits globules contigus les uns aux autres dans toute l'étendue de chaque pore, s'y trouvent contenus comme dans une gaîne, dont les parties ſolides ſe ſoutiennent mutuellement, ce canal comprimé par dehors, n'empruntera rien de la flexibilité de l'air qu'il renferme, & par conſéquent le corps entier qui n'eſt qu'un aſſemblage de ces tuyaux, ne ſera ni plus ni moins compreſſible, ſoit que ſes pores ſoient remplis d'air, ſoit qu'ils en ſoient vuides. 2°. Si ces colonnes d'air moulées dans les pores ſont compoſées de globules fort petits, comme on le doit ſuppoſer, l'action modérée du feu ne pourra les dilater que très-peu; & leur accroiſſement n'excédera pas ſenſiblement celui des pores qui ſe dila-

tent auſſi par le même degré de chaleur : ainſi la maſſe totale ne ſera ni plus ni moins dilatable, ſoit qu'elle contienne de l'air élaſtique, ſoit qu'elle n'en contienne pas.

X. LEÇON.

Mais cet air même le plus intimement mêlé, celui que nous regardons comme n'ayant point de reſſort, parce qu'il eſt extrêmement diviſé, n'en a-t-il point en effet ? Ses parties, au lieu d'être devenues trop courtes pour être flexibles, ne ſeroient-elles pas plutôt repliées ſur elles-mêmes autant qu'il eſt poſſible qu'elles le ſoient ? & leur inflexibilité ne viendroit-elle pas de ce qu'elles ne pourroient plus s'approcher davantage, à-peu-près comme un fil roulé en peloton, devient un corps dur qu'on a peine à comprimer, & qui, lorſqu'il ſe développe, occupe une place incomparablement plus grande ? En m'arrêtant à cette idée, j'apperçois la raiſon pour laquelle cet air extrait des corps prend un volume ſi conſidérable qu'il excede deux ou trois cents fois celui dont il faiſoit partie. La nature a pu ſe ménager des moyens pour reſtreindre ainſi les particules d'air

qu'elle fait entrer dans la compoſition des mixtes ; & la cohérence de ces mêmes corps, quelle qu'en ſoit la cauſe, eſt une puiſſance qui peut ſuffire pour reſiſter à ſa réaction.

X. LEÇON.

Une raiſon que l'on peut ajouter encore pour expliquer cette prodigieuſe extenſion de l'air extrait, c'eſt que cet air n'eſt point pur ; c'eſt un fluide compoſé, qui tient beaucoup des matieres d'où il ſort ; je ne veux pour preuves que les effets dont il eſt capable : celui que l'on tire de la pâte fermentée, des fruits, & de la plûpart des végétaux, éteint le feu, ſuffoque les animaux, & ſe fait ſentir par une odeur pénétrante * ; il eſt donc évident que cet air eſt chargé d'une vapeur abondante, qui fait partie de ſon volume, & l'on ſait d'ailleurs que toutes les ſubſtances qui s'évaporent, s'étendent prodigieuſement ; ainſi les cent vingt-huit pouces cubiques d'air qui ſortent d'un demi-pouce cubique de bois de chêne, ſe réduiroient vraiſemblablement à une quantité bien moins grande, ſi l'on en ſéparoit ce qu'ils contiennent d'étranger.

* *Boyle, Exp. Phyſ. Mech. continuat. 2. Hales, Stat. des végét. p. 152.*

X. LEÇON.

APPLICATIONS.

Les aliments tant solides que liquides qui entrent dans l'estomac, s'y décomposent par la digestion ; ils se désaisissent par conséquent de l'air qu'ils contiennent ; cet air ainsi dégagé se rassemble en bulles, & prend un volume beaucoup plus considérable ; non-seulement parce qu'il se développe & s'étend lorsqu'il est libre, comme on l'a vu par les expériences précédentes ; mais encore parce qu'il éprouve un degré de chaleur assez grand, qui dilate ce fluide d'autant plus que sa masse est plus ample.

Si l'air qui se dégage ainsi des aliments dans l'estomac, ne trouve point d'issue libre pour en sortir, il presse & distend les parties qui le retiennent, & ses efforts font naître quelquefois des douleurs assez vives, que l'on nomme *coliques de vents.*

Lorsque rien ne s'oppose à son passage, il sort par la bouche, & cause ces rapports le plus souvent désagréables & plus ou moins fréquents, selon la quantité des aliments qu'on a pris, leurs qualités, leurs prépara-

sions, ou la disposition actuelle de l'estomac qui les digere.

X. LEÇON.

Ces rapports déplaisent presque toujours, quoique l'on ait mangé ou bu des substances qui soient par elles-mêmes d'une odeur & d'un goût fort agréable : c'est que la digestion les décompose, & que l'air qui s'en exhale n'en emporte que des extraits; or dans les aliments les plus sains, il y a des parties, qui lorsqu'elles sont séparées des autres, sont capables d'affecter nos sens d'une maniere déplaisante ou même dangereuse. Le pain & la pâte de froment, le raisin & les autres fruits, &c. sont du goût de tout le monde, & ne nuisent point au commun des hommes; cependant l'air qui en sort, quand on les fait fermenter, est infect & mortel.

Un estomac surchargé d'aliments, est plus incommodé qu'un autre de ces sortes d'exhalaisons; on en voit assez la raison. Mais la qualité & la préparation sont deux choses qui ont beaucoup de part à cet effet. En général les liqueurs spiritueuses & fermentées comme le vin, la bierre, &c. & tous les aliments crus, portent

X. LEÇON.

avec eux une très-grande quantité d'air ; & l'on doit s'attendre d'en être incommodé, si l'on n'en uſe avec modération.

Un uſage modéré des aliments ne garantit pas même toujours des rapports d'eſtomac ; on voit des perſonnes précautionnées & ſobres, qui s'en plaignent beaucoup. C'eſt qu'alors il y a ſans doute quelqu'humeur vicieuſe qui occaſionne une mauvaiſe digeſtion. Suivant nos principes, cette digeſtion eſt mauvaiſe par excès ; car puiſqu'elle rend une plus grande quantité d'air, il paroît que les aliments ſont plus diviſés : ainſi en pareil cas, on pourroit dire peut-être que l'on digere trop ; mais ceci paſſe les bornes de mon deſſein, c'eſt une queſtion que je ſoumets à l'examen de la Faculté.

En certains temps de l'année le vin & la bierre travaillent dans les tonneaux & dans les bouteilles ; c'eſt-à-dire, qu'il s'y fait une légere fermentation, ſur-tout ſi ces liqueurs ſont remuées ou placées dans des lieux qui ne ſoient pas aſſez frais. Ces mouvements inteſtins ne manquent point de

donner lieu aux particules d'air de se dégager & de monter à la surface ; & comme il lui faut alors beaucoup plus de place qu'il n'en occupoit lorsqu'il étoit divisé & logé dans les pores, il sort avec impétuosité, dès qu'on débouche les vaisseaux, & ses efforts vont même jusqu'à les faire crever, lorsqu'on néglige de lui ouvrir un passage.

X. LEÇON.

Dans les laboratoires de chimie, les artistes ont grand soin de laisser une issue à l'air, quand ils lutent leurs vaisseaux ; l'usage leur a appris que sans cette précaution, les ballons sont en danger de crever avec éclat : quand cet accident arrive, on a coutume de s'en prendre à la masse d'air qu'on a laissé enfermé dans le récipient, & que la chaleur dilate ; & en effet cette cause y contribue ; mais la rupture des vaisseaux vient principalement de la quantité d'air qui sort de la plûpart des matieres qu'on distille ; car pour l'ordinaire, le ballon est capable de résister aux efforts de l'air qu'on y renferme, & qui n'y souffre qu'un degré de chaleur assez médiocre.

X. LEÇON.

Quand on enfonce une canne ou un bâton dans la vaſe au bord d'une riviere ou d'un étang, on voit communément beaucoup de bulles d'air s'élever à la ſurface de l'eau; cet air vient ſans doute des feuilles, des branches d'arbres, des plantes & autres végétaux qui ſe ſont amaſſés & pourris au fond; il demeure engagé dans la boue juſqu'à ce qu'on lui ouvre une iſſue.

Si l'on fait ſortir l'air d'une matiere ſans déſunir les parties de ſa maſſe, en la plaçant, par exemple, dans le vuide; dès qu'on l'expoſe enſuite à l'air libre, elle reprend ce qu'on lui a ôté, à-peu-près comme une éponge qui ſe remplit toujours d'eau, toutes les fois qu'on l'y plonge après l'avoir preſſée. M. Mariotte * s'eſt aſſuré du fait par une expérience auſſi ſimple qu'ingénieuſe. Il purgea d'air une certaine quantité d'eau, en la faiſant bouillir; & en la mettant enſuite quelque temps dans le vuide, il en remplit une phiole qu'il renverſa dans un vaſe plein d'eau, ſans la boucher, en obſervant de faire monter dans le haut une bulle d'air de

* *Eſſais ſur la nature & les propriétés de l'air.*

de la groſſeur d'une aveline ; peu-à-peu il vit diminuer cet air, qui diſparut enfin tout-à-fait au bout d'environ 3 jours, ce qui lui fit connoître évidemment que l'eau de la phiole s'en étoit ſaiſie ; ce qui s'eſt paſſé à l'égard de l'eau, arriveroit ſans doute à toute autre matiere ; on pourroit tout-au-plus ſoupçonner quelques variétés, dans la quantité d'air qui rentre, ou dans le temps qu'il met à rentrer. X. LEÇON.

Des expériences d'un autre genre auxquelles j'étois occupé, ayant exigé que je fuſſe avec plus de préciſion, en combien de temps l'eau peut reprendre l'air qu'elle a perdu par l'ébullition & par la ſuppreſſion du poids de l'atmoſphere, je fis l'expérience qui ſuit.

XX. EXPÉRIENCE.

PRÉPARATION.

A, *Fig.* 37, eſt une caraffe que je remplis d'eau, récemment purgée d'air, environ juſqu'aux deux tiers de ſa capacité ; je la bouche avec du liege que je couvre enſuite d'une

X. LEÇON. couche de cire fondue & mêlée avec de la térébenthine ; au travers de ce bouchon je fais passer le bout du tuyau de verre BCD, qui est recourbé en deux sens opposés, & dont la partie CD attachée sur une planche graduée en pouces & en lignes, est soutenue verticalement sur un pied. Je fais encore passer au travers du même bouchon le tube d'un thermometre, dont la boule est en partie plongée dans l'eau de la caraffe. Je place ensuite cette même caraffe dans un seau qui est rempli d'eau, ainsi que la partie CE du tuyau ; je marque alors avec un fil K, la hauteur du thermometre, & j'observe au barometre celle du mercure, au moment que je commence l'expérience.

Tout étant ainsi disposé, je remarque de 12 en 12 heures l'ascension de l'eau dans le tuyau au-dessus du point E ; & pour être sûr que l'air est toujours d'une égale densité entre l'eau du tuyau & celle de la caraffe, à chaque observation, je prends soin, 1°. de rappeller le bain du seau GH à sa premiere température, en le rechauf-

fant ou en le refroidiſſant juſqu'à ce que la liqueur du thermometre revienne, & ſe fixe au fil *K* : 1°. je vois de combien le mercure a hauſſé ou baiſſé dans le barometre : & comme une ligne de mercure répond à 14 lignes d'eau pour le poids, je les ajoute ou je les diminue dans la partie *CD* du tuyau, afin que la preſſion de l'atmoſphere demeure toujours à peu-près la même.

X. LEÇON.

La quantité d'eau qui s'éleve au-deſſus du point *E*, indique, comme on voit, le volume d'air qui entre dans l'eau de la caraffe ; & après l'expérience, on peut comparer ce volume d'air à celui de l'eau dans laquelle il rentre, en meſurant avec un chalumeau renflé *F*, combien de fois l'eau de la caraffe ſurpaſſe celle qui s'eſt élevée au-deſſus du point *E*.

EFFETS.

En procédant ainſi j'ai obſervé : 1°, Que l'eau du tuyau s'eſt élevée continuellement pendant 7 à 8 jours au-deſſus de *E*.

2°, Que le progrès de ſon aſcenſion a toujours été en diminuant, de façon

X. LEÇON.

que dès le ſixieme jour, il étoit preſqu'inſenſible.

3°. Que la ſomme de toutes les quantités d'eau élevées égaloit à-peu-près la trentieme partie de celle de la caraffe.

EXPLICATIONS.

La maſſe d'eau qui eſt dans la caraffe, eſt à l'égard de l'air qui eſt contenu au-deſſus, à-peu-près comme un corps ſpongieux que l'on a preſſé ou deſſéché, & que l'on applique à la ſurface de quelque liqueur; les pores qui ont été vuidés, comme autant de petits tubes capillaires, abſorbent le fluide qui s'y préſente, & qui eſt encore aidé par la preſſion de l'atmoſphere qui agit en *D*. Mais comme l'air eſt compoſé de parties rameuſes, ou de petites lames tortillées, ce n'eſt que peu-à-peu qu'il s'atténue, & que ſes globules peuvent ſe proportionner aux petites capacités tortueuſes qu'il doit remplir; la difficulté qu'il a pour s'introduire dans l'eau, devient d'autant plus grande, que la maſſe de la liqueur eſt plus profonde; & c'eſt par ces raiſons, ſans doute, qu'il la

pénétre ſi lentement ; & que les progrès de cette pénétration vont toujours en diminuant.

APPLICATIONS.

En ſuivant le procédé de l'expérience précédente, on peut connoître à-peu-près la quantité d'air que l'on a fait ſortir d'une matiere ; car il y a toute apparence, qu'après un temps ſuffiſant, ce qui eſt rentré eſt égal à ce qui en étoit ſorti ; & conſéquemment on pourra juger entre pluſieurs eſpeces, celle qui abonde le plus en air, celle qui le reprend plus promptement, & combien de temps on peut la regarder comme étant purgée d'air.

Ne pourroit-on pas même par ce moyen introduire certaines odeurs dans des matieres fluides ? car l'air en y rentrant, pourroit ſervir de véhicule aux parties odorantes, dont il ſe charge très-facilement, & en très-grande quantité.

Ces différentes vues ouvrent un champ aſſez vaſte à de nouvelles & curieuſes expériences ; j'en ai déja tenté avec quelque ſuccès pluſieurs,

X. LEÇON. dont je rendrai compte ailleurs ; je souhaite que mon exemple excite le zele des Phyſiciens ; la même matiere maniée par différentes mains, fournit ordinairement un plus grand nombre de connoiſſances.

XI LECON.

Suite des propriétés de l'Air.

II. SECTION.

De l'Air considéré comme Atmosphere terrestre.

LA plupart des matieres terrestres contiennent beaucoup d'air entre leurs parties, comme nous l'avons fait voir à la fin de la Leçon précédente ; réciproquement aussi, une masse d'air quelconque se trouve toujours mêlangée de quelques substances étrangeres, & l'on peut dire d'elle, comme de tout autre corps, qu'elle n'est jamais parfaitement pure, c'est-à-dire, qu'elle comprend toujours dans son volume quelqu'autre chose que sa matiere propre. Tout ce qui s'exhale de la terre & des eaux, des animaux & des plantes, entre aussi-tôt

XI. LEÇON.

dans cet élément que nous reſpirons, dans lequel nous vivons, & à qui l'on a donné le nom d'*Atmoſphere*, parce qu'il enveloppe de toutes parts le globule dont nous habitons la ſurface. C'eſt un fait dont nous avons eſſayé de rendre raiſon*, en ſuppoſant qu'il étoit ſuffiſamment connu; & en effet, ſi l'on en pouvoit douter, la diſſipation d'une infinité de ſubſtances qui diſparoiſſent tous les jours à nos yeux, & l'opinion raiſonnable & généralement reçue, que rien ne s'anéantit de tout ce qui a été créé, ſuffiroient pour nous convaincre de cette vérité: lorſque le feu décompoſe un mixte, ne voyons-nous pas les parties les plus ſubtiles s'élever en flamme & en fumée? Quand le cadavre d'un chien ou d'un cheval qu'on a jetté à la voirie, diminue de jour en jour, & devient à rien, n'eſt-ce point toujours en infectant les environs par une mauvaiſe odeur, effet, comme on ſait, des parties qui s'en exhalent? Enfin quelqu'un ignore-t-il que les vaiſſeaux qui contiennent des liqueurs, ſe vuident par évaporation, ſi l'on néglige de les boucher? L'atmoſphere

* *Tome II, page 110 & ſuiv.*

Fig. 34.

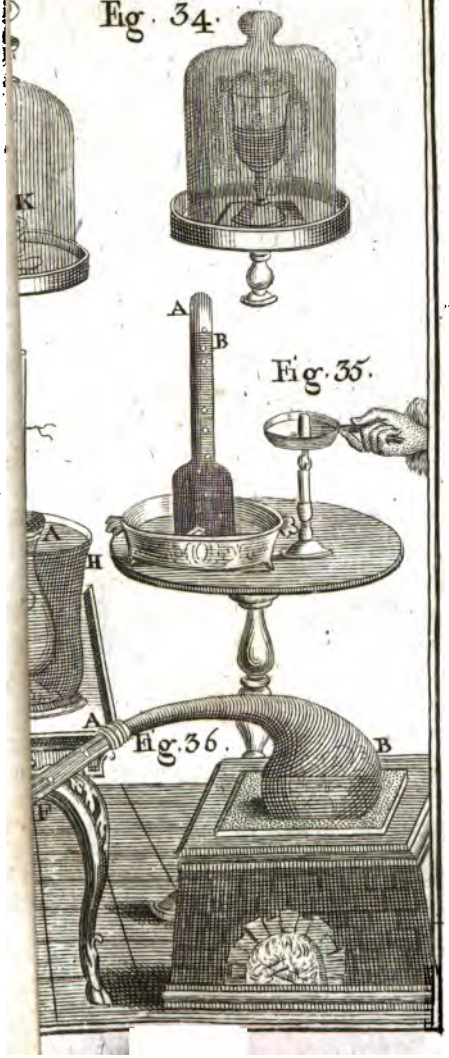


Fig. 35.

Fig. 36.

moſphere terreſtre eſt donc un fluide mixte, un air chargé d'exhalaiſons & de vapeurs. Son état varie ſelon les temps & les lieux, parce que les parties qui entrent dans ce mêlange, ne ſont pas toujours ni par-tout en même quantité, ni avec les mêmes qualités. XI. LEÇON.

On peut conſidérer l'atmoſphere ſous deux aſpects différens : 1ment. comme un fluide en repos, qui peſe également de toutes parts ſur la terre qui reçoit d'elle des matieres de différentes natures, qui les ſoutient pendant un temps, qui les laiſſe retomber, & qui nous tranſmet le chaud & le froid dont il eſt ſuſceptible : 2ment. comme un fluide agité, dont les mouvemens peuvent être différemment modifiés. En examinant l'atmoſphere ſous ces deux points de vue, nous parcourrons dans les deux articles ſuivans ſes principales propriétés.

ARTICLE PREMIER.

De l'atmoſphere conſidérée comme un fluide en repos.

Le repos que je ſuppoſe ici ne doit point s'étendre dans un ſens

absolu, & pour toute l'atmosphere en même temps ; car à la rigueur les parties qui la composent sont dans un mouvement presque continuel, puisqu'elles s'élevent ou s'abaissent fréquemment, & que les changemens de température les étendent ou les resserrent alternativement. Indépendamment de ces vicissitudes, il ne regne jamais un calme si complet dans ce vaste fluide, qu'il n'y en ait toujours quelque portion agitée ; & d'ailleurs l'atmosphere est une dépendance du globe terrestre qui se meut comme lui & avec lui en 24 heures sur un axe commun, & en un an dans le même orbe autour du soleil ; ainsi quand je la considere comme étant en repos, c'est bien moins en lui attribuant absolument cet état, qu'en faisant abstraction de ses principaux mouvemens.

XI. LEÇON.

Nous ne voyons jamais qu'aucune portion de l'atmosphere perde sa fluidité, quoiqu'une grande partie de ce qui la compose soit propre à former des corps solides : l'eau s'y durcit & retombe en petits glaçons ; mais l'air dans lequel elle étoit soutenu ne se

congele point avec elle ; c'eſt que ces parties aqueuſes, quelqu'abondantes qu'elles ſoient, ne le ſont jamais aſſez pour intercepter entierement la contiguité des parties propres d'un volume d'air un peu conſidérable ; & cet élément, tant qu'il fait maſſe, conſerve toujours ſon reſſort, qui paroît être, comme nous l'avons dit ci-deſſus, ſa principale cauſe de ſa fluidité.

XI. LEÇON.

Toute matiere qui appartient à la terre a une tendance naturelle vers le centre de cette planete. Or comme l'atmoſphere eſt compoſée d'air, & d'un extrait, pour ainſi dire, de tous les corps ſublunaires, dont nous avons prouvé la peſanteur dans les Leçons précédentes, on ne peut douter qu'elle ne peſe ſur nous & ſur tout ce qui s'y trouve plongé comme nous : on en a douté cependant, ou plutôt, on a été très-long-temps ſans y faire attention. Nous avons dit ailleurs * de quelle maniere enfin l'on s'en eſt convaincu, & comment la connoiſſance du poids de l'atmoſphere a éclairé les Phyſiciens ſur pluſieurs phénomenes qui en réſultent.

* *Tom. I, p. 290 & ſuiv.*

XI. LEÇON.

Mais cette peſanteur eſt celle d'un fluide ; elle doit donc croître & diminuer ſelon la hauteur des colonnes & la largeur de leur baſe ; c'eſt auſſi ſelon cette proportion qu'elle agit, comme on l'a déjà vu dans la ſeptieme Leçon, où nous avons rapporté l'origine du barometre, ſes principaux uſages, & l'épreuve qu'on en fit dans les différentes ſtations de la montagne du Puy de Dome en Auvergne : je rapporterai encore ici une expérience du même genre, & d'une exécution plus facile, qui me donnera occaſion d'expoſer ce qu'il me reſte à dire ſur cette matiere.

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

Il faut faire choix de quelque lieu élevé & acceſſible, comme d'une tour, d'un clocher, ou de quelque autre édifice, dont on puiſſe aiſément meſurer la hauteur perpendiculaire, & ſe munir de deux barometres bien ſemblables ; c'eſt-à-dire, que dans le même lieu le mercure ſoit toujours dans l'un & dans l'autre à des hau-

teurs pareilles. On laisse un de ces instrumens au pied de la-tour avec un Observateur qui examine attentivement, s'il n'arrive point de variation à la hauteur du mercure, pendant qu'on porte l'autre en haut. XI. LEÇON.

EFFETS.

1°. A mesure qu'on s'éleve avec le barometre, le mercure s'abaisse dans le tube, comme je l'ai déjà dit * en rapportant l'expérience de M. Pascal, exécutée au Puy de Dome, par M. Perrier. * *Tome I, p. 300.*

2°. Si, lorsque le mercure s'est abaissé d'une ligne, on mesure la hauteur de l'endroit où l'on fait cette premiere station, on trouve qu'elle est d'environ 12 toises.

3°. Si l'édifice ou la nature du lieu permet que l'on s'éleve davantage à des hauteurs connues ou mesurables, on trouve que les stations suivantes, qui se font à chaque fois qu'on observe une ligne d'abaissement au mercure, sont toujours à peu près de 12 toises les unes au dessus des autres.

4°. On remarque que les hauteurs perpendiculaires de toutes ces sta-

XI. LEÇON.

tions, dont chacune répond à une ligne d'abaiſſement du mercure, ſont d'autant plus petites que l'air peſe davantage dans le temps de l'expérience, ſoit par le peu d'élévation du lieu où l'on opere, ſoit par l'état actuel de l'atmoſphere.

5°. Si l'on répete cette épreuve dans des lieux qui ne ſoient que médiocrement éloignés les uns des autres, & dans des circonſtances qui rendent la preſſion de l'atmoſphere à peu près ſemblable, on trouve auſſi à peu près les mêmes réſultats; mais lorſque les diſtances ſont très grandes, comme de 400 ou 500 lieues, on peut s'attendre à des différences aſſez conſidérables.

EXPLICATIONS.

L'atmoſphere ayant plus de hauteur à compter du rez-de-chauſſée d'une tour, ou du pied d'une montagne, qu'elle n'en a à toutes les ſtations que l'on fait en montant, ſon poids eſt auſſi plus grand; & s'il eſt capable de ſoutenir d'abord 27 pouces $\frac{1}{2}$ de mercure dans chaque baromètre, celui des deux que l'on por-

te plus haut ſe trouve ſous une colonne d'air plus courte, qui, par conſéquent ſoutient moins de mercure. Cette diminution de poids dans la colonne de l'atmoſphere ne peut être attribuée qu'à ſon raccourciſſement; car le barometre de comparaiſon, qu'on a laiſſé dans le lieu le plus bas, & qui ſoutient une colonne entiere, ſoit qu'il varie, ou qu'il ne varie pas pendant l'expérience, ſe trouve toujours plus haut que l'autre, & ſuivant les proportions marquées dans les réſultats ci-deſſus.

XI. LEÇON.

Par le ſecond & le troiſieme de ces réſultats, on voit que chaque ligne d'abaiſſement du mercure dans le barometre répond environ à 12 toiſes de hauteur perpendiculaire dans l'atmoſphere : ce rapport nous donne l'air plus peſant que nous ne l'avons eſtimé dans la Leçon précédente; car nous avons dit que ſa denſité ou peſanteur ſpécifique eſt à celle de l'eau, à peu près comme l'unité eſt à 900 : & comme le mercure peſe 14 fois autant que l'eau, il ſuit qu'une ligne de mercure équivaut à 14 fois 900 lignes d'air dont la ſomme 12600 fait

XI. LEÇON.

15 toises 4 pieds 6 pouces & 8 lignes, au lieu de 12 toises dont nous venons de faire mention dans les résultats précédens.

Mais il faut observer aussi, que de tous ceux qui se sont appliqués à cette recherche par des expériences soigneusement faites en différens temps, & en différens lieux, il en est bien peu qui s'accordent à conclure le même rapport. M. Cassini, après avoir porté le barometre sur la montagne de Notre-Dame de la Garde, près de Toulon, évalue à 10 toises & 5 pieds la hauteur de l'air qui soutient une ligne de mercure. M. de la Hire le pere la trouva de 12 toises, par des épreuves qu'il fit sur le Mont-Clairet, dans le voisinage de la même Ville; ce même Académicien la jugea de 12 toises 4 pieds à Meudon, & de 12 toises 2 pieds 8 pouces à Paris. Selon les observations de M. Picart, faites au Mont-Saint Michel, une ligne de différence dans la hauteur du mercure au barometre, répond à 14 toises 1 pied & 4 pouces d'air. Enfin M. Valerius *, savant Suédois, qui répéta ces expériences dans son Pays

* *Hist. de l'Acad. des Scienc.* 1721, *p.* 3 *& suiv.*

après avoir observé les diverses hauteurs d'un barometre qu'il descendit d'abord dans une mine très-profonde, & qu'il porta ensuite au sommet d'une montagne voisine, compta pour chaque ligne de mercure 10 toises 1 pied & 4 lignes de hauteur dans l'atmosphere. M. de la Hire * le fils attribue toutes ces différences à deux causes principales : 1°. à des couches de vapeurs, qui peuvent régner dans certaines parties de l'atmosphere, & qui en augmentent pour un temps la pesanteur ; ce qui paroît très-vraisemblable : 2°. à la situation des lieux où l'on fait ces expériences, ou à la pesanteur actuelle plus ou moins grande de l'atmosphere ; & en effet, on voit par le quatrieme résultat que la portion d'une colonne d'air qui répond à une ligne de mercure, est d'autant plus grande ou plus petite, que cet air est plus ou moins dense ; & la densité ou le poids d'un fluide compressible, croît à mesure qu'il est plus chargé, soit par sa propre matiere amoncelée, soit par des parties étrangeres qui s'y mêlent.

XI. LEÇON.

* *Mém. de l'Acad. des Scienc.* 1712, p. 114.

On peut ajouter encore pour troi-

sieme raison, (& c'est peut-être la plus
XI. forte ;) on peut, dis-je, ajouter qu'il
LEÇON. est très-difficile d'estimer au juste chaque ligne d'abaissement du mercure dans le barometre ; cependant les plus petites erreurs dans cette estimation sont d'une grande conséquence, lorsqu'il s'agit de juger avec exactitude de la hauteur d'une colonne d'air correspondante. Car puisque le mercure ne s'abaisse que d'une ligne pour un retranchement d'environ 12 toises fait à la colonne d'air, on peut aisément se tromper de quelques toises sur celle-ci ; il suffit pour cela qu'il y ait un mécompte d'un $\frac{1}{12}$ de ligne dans l'observation du barometre. Ceux qui connoissent bien cet instrument, conviendront sans peine que l'observateur le plus attentif peut fort bien commettre de pareilles fautes, non-seulement à cause de quelque défaut de mobilité qui peut empêcher le mercure de se remettre dans un parfait équilibre avec l'atmosphere après ses balancemens ; mais encore à cause de la convexité de sa surface & des petites réfractions occasionnées par l'épaisseur du verre, & qui peuvent tromper l'œil.

XL LEÇON.

Puiſque l'atmoſphere eſt un fluide compreſſible, on ne peut pas ſuppoſer que ſa denſité ſoit uniforme; on doit penſer au contraire, que les couches ſupérieures, peſant ſur celles qui ſont au-deſſous, reſſerrent & condenſent de plus en plus leurs parties; & conſéquemment à ce principe, les différentes ſtations où l'on obſerve en montant, une ligne d'abaiſſement dans le mercure du barometre, doivent ſe trouver toujours de plus en plus éloignées les unes des autres. C'eſt ce qu'on obſerve en effet: mais juſqu'à une hauteur de 1000 ou 1200 toiſes au-deſſus du niveau de la mer, les différences ſont peu conſidérables, apparemment parce que la grande quantité de vapeurs groſſieres dont l'air eſt chargé dans cette baſſe région, & le grand poids qui le preſſe, rendent ſa denſité preſque uniforme. MM. Caſſini & Maraldi, après un grand nombre d'expériences faites ſur diverſes montagnes dont ils avoient meſuré géométriquement les hauteurs, jugerent que les portions retranchées d'une colonne de l'atmoſphere pour pluſieurs

XI. LEÇON.

lignes d'abaiſſement du mercure au barometre, croiſſent ſuivant cette progreſſion, ſavoir, que ſi la premiere ligne de mercure répond à 61 pieds d'air, il y en a pour la ſeconde 62, pour la troiſieme 63, & ainſi de ſuite. Mais ils ont penſé avec raiſon, que cette proportion ne continue point au-delà d'une demi-lieue au-deſſus du niveau de la mer; car alors, l'air étant plus pur, ſon reſſort eſt plus libre, & ſes différens degrés de denſité ne dépendent preſque plus que de la preſſion des couches ſupérieures & du degré de froid qui y regne.

APPLICATIONS.

Si l'on a peſé la colonne de mercure d'un barometre dont le tuyau ſoit parfaitement cylindrique, on ſait auſſi-tôt quel eſt le poids de la colonne totale de l'atmoſphere qui la tient en équilibre; & l'air du cercle qui fait ſa baſe eſt un eſpace connu qu'on peut multiplier autant de fois qu'on voudra, pour ſavoir quelle eſt la preſſion de l'atmoſphere, ſur un eſpace donné à la ſurface de la terre:

un exemple rendra ceci plus intelligible.

XI. LEÇON.

Supposons que le tube du barometre ait deux lignes de diametre intérieurement, & que le mercure qu'il contient pese une livre ; cela m'apprend que dans le même lieu où est le barometre, tout espace circulaire qui a deux lignes de diametre, comme l'ouverture du tuyau, se trouve chargé d'une colonne d'air qui pese une livre ; & cette pression se fait contre une porte de même que sur une table ; parce que c'est ici le poids d'un fluide, qui agit dans toutes sortes de directions, comme nous l'avons enseigné en traitant de l'hydrostatique.

Supposons maintenant qu'on voulût savoir combien pese l'atmosphere sur un espace circulaire d'un diametre trois fois plus grand que le précédent, ce dernier espace est 9 fois plus étendu que le premier : car les cercles sont entr'eux comme les quarrés de leurs diametres, & le quarré de 3 est 9. Je dirai donc : Puisqu'une colonne de l'atmosphere, dont la base a deux lignes de diametre, pese

XI. LEÇON.

une livre ; une autre colonne qui s'appuie ſur un eſpace 9 fois plus grand peſe 9 livres : & l'on pourra ſavoir ainſi quelle eſt la preſſion de l'atmoſphere ſur tout eſpace dont on connoîtra l'étendue.

Quelques curieux, fondés ſur ce principe, ſe ſont propoſé de chercher quel eſt le poids de toute l'atmoſphere ; mais ce qu'ils ont pu ſavoir à cet égard, tient à des hypotheſes dont les unes viſiblement fauſſes, les autres très-incertaines, ont rendu leurs laborieux calculs preſqu'inutiles. Et en effet quelle connoiſſance peut-on tirer d'un pareil travail, ſi l'on ignore quelle eſt au juſte l'étendue de la ſurface de la terre ; ſi l'on néglige de tenir compte de la hauteur de ſes inégalités ; ſi l'on conſidere l'atmoſphere, comme un fluide d'une denſité uniforme dans ſes parties ſemblables ; ſi l'on n'a point égard aux effets de la force centrifuge qui réſulte du mouvement de la terre ſur ſon axe, &c ? On voit aſſez combien il ſeroit difficile de ſaiſir avec juſteſſe tous ces éléments ; mais cette queſtion n'étant heureu-

sement que de pure curiosité, la solution qu'on pourroit se flatter d'en avoir, ne mérite pas la peine qu'elle exige. XI. LEÇON.

On fera du barometre une application plus heureuse & plus utile, si l'on s'en sert pour mesurer la hauteur des montagnes; car suivant les expériences qui furent faites par MM. Cassini, Maraldi, & Chaselles en Auvergne, en Languedoc, & en Roussillon *, il paroît que depuis le niveau de la mer jusqu'à une demi-lieue de hauteur, on peut compter environ 10 toises d'élévation pour chaque ligne d'abaissement du mercure, en ajoutant un pied à la premiere dixaine, 2 pieds à la seconde, 3 pieds à la troisieme, & ainsi de suite.

* *Mém. de l'Acad. des Scienc.* 1703, p. 229 & *s.*

On voit bien que pour mettre ce moyen en usage, il faut savoir à quelle hauteur se tient actuellement le mercure au bord de la mer pendant que l'on opere; & c'est ce que l'on peut savoir facilement par un barometre de comparaison qu'on y laisse avec un Observateur attentif. Il n'est pas même besoin que ce barometre & cet Observateur soient au

XI. LEÇON.

bord de la mer ; il suffit que l'observation se fasse dans un lieu dont on connoisse l'élévation au-dessus du niveau de la mer ; & c'est ce qu'il n'est point rare de trouver maintenant dans presque tous les Etats. La salle de l'Observatoire Royal de Paris, par exemple, où l'on fait perpétuellement les observations du barometre, & dont on tient un état tous les ans, est de 45 toises au-dessus de la Méditerrannée, & de 46 au-dessus du niveau de l'Océan ; & le mercure s'y tient toujours pour cette raison, environ 4 lignes plus bas qu'on ne l'observe au bord de ces deux mers.

Je suppose donc que l'on ait porté un barometre au sommet d'une montagne dont la hauteur soit inconnue ; si l'on trouve le mercure 10 lignes au dessous du terme où il seroit sur le bord de la mer, en comptant d'abord dix toises pour chaque ligne de mercure, on aura 100 toises, auxquelles ajoutant un pied pour la premiere dixaine, 2 pieds pour la seconde, 3 pieds pour la troisieme, & ainsi de suite jusqu'à la dixieme inclusivement, on aura encore 55 pieds qui

qui font neuf toiſes & un pied; ainſi l'on conclura 109 toiſes & un pied, pour la hauteur de la montagne au-deſſus du niveau de la mer. XI. LEÇON.

Il eſt vrai que cette méthode ne donne point des meſures préciſes, & qu'en l'employant on ne peut gueres compter que ſur des à-peu-près: 1^ment, parce que les expériences ſur leſquelles elle eſt fondée, ayant varié dans leurs réſultats, ne déterminent pas avec préciſion la hauteur qui répond à une ligne de mercure; en ſecond lieu, parce qu'il eſt très-difficile de juger avec toute l'exactitude qui ſeroit néceſſaire, de combien le barometre a baiſſé lorſqu'il eſt parvenu au plus haut de la montagne; & enfin, parce que pendant l'opération, il peut arriver quelque changement dans les parties de l'atmoſphere qui couvrent le lieu où l'on opere. Mais combien y a-t-il d'occaſions où les meſures géométriques ne peuvent être employées, & où l'on peut ſe contenter de connoître ces hauteurs à 10 ou 12 toiſes près.

Une des vues que l'on pourroit avoir encore en faiſant uſage du ba-

XI. LEÇON.

rometre, ce ſeroit de connoître l'étendue de l'atmoſphere, en déterminant la hauteur de cette colonne d'air qui ſoutient celle du mercure, & dont nous avons appris ci-deſſus à meſurer le poids ; il ſemble qu'on en pourroit aiſément venir à bout, ſi l'air de l'atmoſphere, comme de l'eau ou comme toute autre liqueur, étoit par-tout d'une denſité uniforme ; car en ſuppoſant qu'une ligne de mercure répondît toujours à 10 toiſes de cette colonne, elle devroit avoir autant de fois 10 toiſes que l'on compte de lignes dans 28 pouces, hauteur moyenne du barometre au niveau de la mer. Or il y a 336 lignes dans 28 pouces, ce qui donneroit 3360 toiſes pour la hauteur totale de l'atmoſphere : mais le fluide dont il s'agit eſt une matiere compreſſible ; & par cette raiſon, les parties ſemblables de cette colonne étant priſes les unes au-deſſus des autres, ne doivent pas peſer également, ou (ce qui eſt la même choſe,) toutes ces portions, pour être de même poids, doivent avoir des longueurs différentes ; les plus baſſes ſeront plus courtes que celles qui ſont au-deſſus.

Cette difficulté cependant n'empêcheroit pas qu'on ne vînt à bout d'évaluer par cette méthode la hauteur de l'atmosphere, si l'on savoit au juste dans quelle progression l'air se raréfie, à mesure que sa masse diminue, & qu'il se trouve moins chargé par son propre poids : si l'on étoit certain, par exemple, que sa densité augmentât & diminuât comme les poids qui le compriment, & que cette regle établie par M. Mariotte pût être suivie à toutes sortes de hauteurs. Mais bien loin de pouvoir compter sur cette supposition, on sait, par un nombre suffisant d'observations & d'expériences, que l'air ne se raréfie & ne se comprime ainsi que dans une densité moyenne, & que dans les cas extrêmes, il suit une autre progression que l'on ne connoît point assez, & qui, telle qu'elle puisse être, doit varier suivant certaines circonstances. Plus ou moins de chaleur ou de pureté dans une région où nos observations ne peuvent s'étendre, suffit pour causer des changements assez considérables à la pesanteur de l'atmosphere, & à sa hauteur : on ne

XI. LEÇON.

XI. LEÇON.

peut, ſans incertitude, juger de l'une par l'autre ; (je veux dire, de la hauteur par le poids,) quand on ignore quel eſt l'état actuel de l'air dans toute ſon étendue.

Un corps à reſſort que l'on a comprimé fortement avec un certain nombre de poids égaux, lorſqu'on vient à le décharger peu-à-peu, ſe déploye par des quantités qui vont toujours en augmentant & qui ſuivent d'abord une progreſſion aſſez réguliere ; mais ſur la fin, lorſqu'on ôte les derniers poids, le développement ou l'extenſion du reſſort ſe fait dans des rapports beaucoup plus conſidérables. Comme l'air eſt un fluide élaſtique, on doit préſumer que dans les hautes régions, où il eſt bien moins chargé par ſon propre poids, que par-tout ailleurs où nous pouvons faire des épreuves, il s'étend auſſi beaucoup davantage, ce qui doit donner à l'atmoſphere une hauteur plus grande qu'elle n'auroit, ſi nous en devions juger par les quantités qui répondent ici-bas à une ligne d'abaiſſement du mercure dans le barometre.

D'ailleurs on doit faire attention

qu'à une plus grande distance du centre de la terre, la pesanteur diminue, & la force centrifuge augmente : ces deux causes concourent encore à diminuer le poids de l'air, & à faciliter sa raréfaction dans la partie la plus élevée de l'atmosphere. XI. LEÇON.

De ces différentes considérations, & des expériences faites avec le barometre il suit, que notre atmosphere ne peut pas avoir moins que six lieues d'étendue en hauteur ; il suit aussi, (& c'est l'opinion commune) que cette même hauteur peut être de 15 ou 20 lieues : quelles différences ! & combien nous sommes encore peu instruits sur cette question !

M. de la Hire touché de cette incertitude, & désirant une solution moins vague, se proposa de connoître la hauteur de l'atmosphere, en faisant usage d'une méthode indiquée par Kepler, mais qu'il perfectionna & sut employer plus heureusement que cet Astronome. Ce qu'on appelle *crépuscule*, cette lumiere qui commence le jour avant que le soleil soit levé, & qui le fait durer encore quelque temps après que cet astre est couché,

XI. LEÇON.

est un effet de la réflexion causée par l'atmosphere aux rayons qui, sans cela, passeroient au-dessus de cette partie de la terre que nous habitons, & ne l'éclaireroient point : cette lumiere réfléchie qu'on apperçoit sensiblement dans le climat de Paris, lorsque le soleil n'est pas plus bas que 18 degrés au-dessous de l'horizon, commenceroit plus tard le matin, & finiroit plutôt le soir, si l'atmosphere avoit moins d'étendue, parce qu'alors les rayons de lumiere pourroient partir d'un point plus élevé vers l'horizon * sans rencontrer cette masse fluide qui les renvoye vers la terre. Il y a donc un rapport nécessaire entre la durée des crépuscules & la hauteur de l'atmosphere ; & comme la premiere de ces deux choses est connue ou facile à connoître, dans toutes les positions de la sphere, on voit qu'elle peut généralement conduire à découvrir l'autre. En effet M. de la Hire & M. Halley, en maniant cette méthode avec une adresse & des précautions dont il faut lire le détail dans leurs propres ouvrages *, ont conclu avec assez de

* *Mém. de l'Acad. des Scienc.* 1713. p. 54.

vraiſemblance la hauteur de l'atmoſphere de 15 ou 16 lieues ; je dis avec aſſez de vraiſemblance, & non avec certitude, parce que leur doctrine tient encore à quelques hypotheſes, qui pourroient bien n'être pas préciſément d'accord avec la nature.

Si l'on connoiſſoit bien la hauteur de l'atmoſphere pour chaque climat, on ſauroit quelle eſt la figure de toute ſa maſſe ; car une ſuite de colonnes, qui depuis l'équateur juſqu'aux pôles, ſeroient rangées dans un même plan, formeroient, par leurs extrémités, une courbe d'où réſulteroit la ſolution du problême. Mais comme il reſte des doutes ſur la premiere de ces deux queſtions, la ſeconde demeure encore indéciſe, au moins pour ceux qui ne veulent ſe rendre qu'à des raiſons tout-à-fait évidentes.

Sur les obſervations de M. Richer à la Cayenne, & ſur celles qui furent faites à-peu-près dans les mêmes temps avec le barometre en différents climats, on conjectura que la hauteur de l'atmoſphere augmentoit de plus en plus, depuis l'équateur juſqu'aux

XI. LEÇON.

pôles, parce que le mercure ſe tient plus haut dans les pays ſeptentrionaux que ſous la ligne équinoxiale & aux environs. Suivant cette conjecture l'atmoſphere formeroit donc, avec la terre qu'elle enveloppe, un ſphéroïde alongé vers les pôles, & ſon épaiſſeur ſeroit moindre à l'équateur que par-tout ailleurs.

Mais ſans donner atteinte aux obſervations du barometre, qui ne ſe ſont point démenties depuis, & qui ont été même réitérées en dernier lieu avec toute l'exactitude poſſible, ne pourroit-on pas conjecturer tout autrement qu'on n'a fait touchant la figure extérieure de l'atmoſphere? En jugeant de ſes hauteurs, par ſes différents degrés de preſſion, a-t-on pû négliger d'avoir égard à la force centrifuge qui réſulte du mouvement de la terre ſur ſon axe, & qui eſt commun ſans doute à l'air qui l'environne? Une pareille conſidération a fait conclure que les parties de notre globe, pour être en équilibre entr'elles, avoient dû s'arranger ſous la forme d'un ſphéroïde plus élevé à l'équateur qu'aux pôles, comme nous l'avons expliqué

pliqué ailleurs. Ne peut-on pas dire la même choſe, & avec plus de raiſon encore, d'un fluide plus diſpoſé par ſa nature à ſe prêter aux loix de la ſtatique, & à celles des forces centrales? Il y a donc beaucoup d'apparence que l'air eſt plus haut entre les deux tropiques qu'il ne l'eſt par-tout ailleurs, parce que cette partie de l'atmoſphere tourne avec plus de viteſſe, & que la force centrifuge y agit plus fortement & plus directement contre la peſanteur. XI. LEÇON.

On peut ajouter auſſi, que ſous la Zone torride, où il regne une chaleur plus grande & plus continuelle, au moins vers la ſurface de la terre, l'air doit y être plus raréfié, & que les colonnes par conſéquent doivent augmenter en longueur, pour être en équilibre avec celles d'un autre climat. Si le mercure du barometre s'y tient plus bas que dans le nord, on ne peut point douter que l'air n'y ſoit moins peſant; mais cette moindre peſanteur vient-elle de ce que les colonnes ſont moins hautes, ou bien doit-on s'en prendre aux cauſes que je viens d'expoſer? Le dernier parti

me paroît le plus vraisemblable.

XI. LEÇON.

II. EXPERIENCE.

PREPARATION.

IL faut mêler de la glace pilée ou de la neige avec du sel dans un vase de verre ou de métal fort mince, qui soit bien essuyé en dehors, & que l'on tient environ un quart-d'heure dans un lieu frais.

EFFETS.

Tous les dehors du vaisseau se couvrent peu-à-peu d'une espece de frimat ou de gelée blanche assez semblable à celle qu'on voit le matin sur les toits & à la surface de la terre, vers la fin de l'automne ou au bord de l'hyver.

EXPLICATIONS.

Le mêlange de glace & de sel refroidit considérablement les parois du vase qui le contiennent : ce refroidissement condense aussi-tôt l'air extérieur le plus prochain ; & les particules d'eau dont cet air est chargé, étant condensées aussi par la même

cause, s'appliquent & se gelent contre le vase ; à la premiere couche il s'en joint une autre, à celle-ci une troisieme, &c. ce qui fait que cette congélation extérieure s'épaissit plus ou moins, selon la durée & l'intensité du froid artificiel qui la cause. XI. LEÇON.

Si l'on étoit tenté de croire que cet effet n'est qu'une transpiration de ce qui est dans le vase, on seroit bientôt désabusé de cette erreur en goûtant la glace extérieure ; car on la trouveroit insipide & bien différente de ce qu'elle devroit être, si elle se formoit d'eau salée.

Pour dissiper entierement ce préjugé, avant que de refroidir mon vase avec le mêlange de sel & de glace, je le place dans un autre vase de verre, & j'empêche que l'air extérieur ne puisse entrer dans le peu d'intervalle qui se trouve entre lui & l'autre ; & alors quel que soit le refroidissement, je n'apperçois aucune congélation autour du vase enfermé : celle qu'on y voit lorsqu'il ne l'est pas, ne peut donc être attribuée qu'à l'humidité de l'air extérieur.

XI. LEÇON.

III. EXPÉRIENCE.

PREPARATION.

La *Fig.* 1. repréſente un ballon de verre bien tranſparent, de 9 à 10 pouces de diametre, qui n'a jamais été rempli d'aucune liqueur & qui eſt joint avec le plus grand récipient de la Machine pneumatique par un canal garni d'un robinet, de ſorte qu'on peut ouvrir & fermer la communication entre les deux vaiſſeaux : la clef du robinet eſt percée de façon que, quand le récipient & le ballon ne communiquent point enſemble, celui-ci communique avec l'air extérieur : le canal étant donc fermé, on épuiſe l'air du récipient, & l'on ouvre enſuite la communication entre le ballon & lui.

EFFETS.

Si le ballon eſt placé entre la lumiere & l'œil du ſpectateur, on y apperçoit une vapeur légere qui tournoye, & qui ſe précipite vers le bas du vaiſſeau ; s'il rentre de nouvel air dans le ballon, & qu'on ouvre de

nouveau la communication, on voit aussi-tôt renaître la vapeur; & cet effet arrive autant de fois qu'on ouvre le robinet, pourvu que l'air soit encore suffisamment raréfié dans le récipient. XI. LEÇON.

EXPLICATIONS.

Toutes les fois qu'on ouvre une communication entre deux capacités, dont l'une est vuide d'air, l'autre en étant pleine, ce fluide s'étend & se partage à toutes les deux, suivant le rapport qu'elles ont entr'elles, comme on l'a dit en parlant des fonctions de la machine pneumatique; c'est pourquoi, dans le ballon de l'expérience précédente, l'air se raréfie considérablement, dès que le vaisseau vient à communiquer avec le récipient que l'on a évacué. Mais comme les petits corps étrangers dont cette masse d'air est chargée ne sont pas de nature à s'étendre comme elle, ils demeurent isolés, ils sont abandonnés à leur propre poids, & au mouvement de l'air qui se porte de toutes parts vers le canal de communication, ce qui les fait tournoyer

en tombant en forme de vapeur.

XI. LEÇON. Le même effet s'apperçoit toujours plus ou moins à tout récipient où l'on commence à faire le vuide : & j'aurois pu me contenter de rappeller ce fait si familier à ceux qui font usage de la machine pneumatique, pour prouver que l'air est toujours mêlé de matieres étrangeres ; mais on auroit pu m'objecter que cette vapeur qui fait ici le fond de ma preuve, n'est dûe qu'à l'humidité du cuir mouillé qui couvre la platine, & sur lequel on applique le vaisseau : je dissipe ce soupçon quand je la fais voir dans un ballon bien net, & dans lequel il n'entre autre chose que l'air qui vient immédiatement de l'atmosphere : quiconque ne voudra pas se rendre à cette raison, en trouvera beaucoup d'autres encore dans un écrit * où j'ai traité exprès de cette matiere.

* *Mém. de l'Acad. des Scienc.* 1740. *p.* 243.

On pourroit demander pourquoi les corpuscules qui forment la vapeur dont il s'agit, n'étant point visibles dans l'air de l'atmosphere, le deviennent aussi-tôt que ce fluide vient à se raréfier.

Il y a toute apparence que ces pe-

fits corps, dès qu'ils ceſſent d'être ſoutenus, retombent les uns ſur les autres, & s'uniſſent pour former des maſſes plus groſſieres, & par conſéquent plus propres à être apperçues.

XI. LEÇON.

D'ailleurs c'eſt un fait que nous examinerons en traitant de l'optique, que la tranſparence des corps diminue, à meſure que leurs parties deviennent plus denſes les unes que les autres: or quand cette maſſe fluide qui remplit le ballon vient à ſe raréfier, il n'y a que la denſité de l'air proprement dit, qui diminue; celle des autres matieres qui s'y trouvent mêlées, augmente au contraire, & ce double effet occaſionne ſans doute cette petite opacité qu'on apperçoit, & qui ne manque pas de diſparoître auſſi-tôt qu'une raréfaction ſuffiſante a donné lieu à l'air de ſe purifier, en ſe déſaiſiſſant entiérement de ce qu'il avoit d'étranger.

APPLICATIONS.

ON diſtingue communément en deux claſſes toutes les matieres qui s'élévent de la ſurface de la terre dans l'atmoſphere; l'une comprend ſous

XI. LEÇON

le nom de *Vapeurs* tout ce qui tient de la nature de l'eau ; dans l'autre on range toutes les parties salines, sulfureuses, grasses & spiritueuses, & c'est ce qu'on appelle *Exhalaisons*.

Toutes ces substances, tant celles qui s'exhalent, que celles qui s'évaporent, étant différemment mélangées ou modifiées, prennent des formes & produisent des effets qui varient beaucoup, & que l'on connoît sous le nom de *Météores*. On en peut distinguer de trois sortes ; savoir, ceux qui sont produits par les vapeurs seules & que l'on appelle météores *aqueux*, comme le brouillard, les nuages, la pluie, la grêle, le frimat, &c. ceux qui font naître des exhalaisons qui s'allument, & que l'on nomme météores *enflammés* ; tels sont les feux qui paroissent quelquefois dans notre atmosphere, &c. & ceux qui résultent des vapeurs & des exhalaisons combinées avec la lumiere, & qu'on peut appeller météores *lumineux*, comme l'arc-en-ciel, les parhélies, &c.

Pour ne point faire une trop longue digression, je me contenterai de par-

courir ici les météores de la premiere eſpece ; & je remettrai à parler des autres dans les Leçons où je traiterai du feu & de la lumiere. XI. LEÇON.

Pendant le jour, les rayons du ſoleil échauffent en même temps & la terre & l'air qui l'environne. Lorſque cet aſtre eſt couché, la chaleur qu'il a fait naître ſe rallentit peu-à-peu ; mais elle ſe conſerve plus long-temps dans les corps qui ont plus de matiere, de ſorte que pendant la nuit, la terre & les eaux ſont communément plus chaudes que l'air de l'atmoſphere. Alors la matiere du feu, qui tend à ſe répandre toujours uniformément à la maniere des autres fluides, paſſe de la terre dans l'air, & emporte avec elle les parties les plus ſubtiles des corps terreſtres, qu'elle détache & qu'elle anime par ſon mouvement. Cette cauſe particuliere ſe joignant à celles dont nous avons fait mention * en parlant de l'élévation des vapeurs en général, fait que la partie de l'atmoſphere la plus voiſine de la terre reçoit une plus grande quantité de ces parties évaporées : de-là vient cette humidité qu'on apperçoit ſenſible-

* *Tome II. p. 110 & ſuiv.*

XI. LEÇON.

ment sur les habits, lorsqu'on se promene à la campagne pendant les soirées fraîches du printemps & de l'automne, & que l'on nomme *le serein*. Ces sortes de vapeurs s'attachent plus promptement & en plus grande quantité aux taffetas & aux toiles fines qu'aux grosses étoffes, parce que celles-ci prenant plus lentement que les autres la température de l'air qui se refroidit, le feu qui continue de s'en exhaler emporte avec lui les particules d'eau qui se présentent à leur surface.

Le serein dure toute la nuit, dans les saisons & dans les climats où la terre s'échauffe suffisamment pendant le jour. Au soleil levant, la chaleur commence à renaître dans l'atmosphere, & l'air, en se dilatant, se désaisit pour l'ordinaire de ces vapeurs, trop subtiles peut-être pour remplir ses pores, ou bien elles suivent la matiere du feu à laquelle elles sont encore unies, & qui retourne alors vers la terre. Les vapeurs qui retombent ainsi, s'appellent *rosées*; elles sont plus abondantes aux champs qu'à la ville, & dans les campagnes couver-

tes d'arbres & de plantes que dans les lieux arides ; car il en tombe à proportion de ce qu'il s'en eſt élevé.

XI. LEÇON.

Il ne faut pas confondre cependant cette roſée qui tombe de l'air, avec celle qu'on remarque le matin ſur les plantes. Ces gouttes qu'on voit à leurs tiges & ſur leurs feuilles, ſont des effets de la tranſpiration, & l'on peut aiſément s'en convaincre, ſi l'on couvre un chou ou un pied de laitue pendant la nuit ; car on y verra le matin la même roſée qu'on a coutume d'y voir lorſque ces plantes demeurent découvertes. Les particules d'eau qui forment ces gouttes viennent de la terre comme les autres, & ſont élevées par la même cauſe ; mais au lieu d'en ſortir immédiatement comme par-tout ailleurs, elles enfilent des tiges, des branches, des feuilles, leur mouvement ſe rallentit, & elles demeurent pluſieurs enſemble à l'orifice des petits canaux par leſquels elles tranſpirent.

Les Empiriques & les Alchymiſtes ont attribué de grandes vertus à la roſée ; mais il paroît que toutes les merveilles qu'ils en ont annoncées,

XI. LEÇON.

n'ont pas plus de réalité qu'une infinité de chimeres dont ils ont coutume de repaître leur imagination, & la crédulité des ignorants.

Pluſieurs Auteurs ont dit avec plus de fondement & de vraiſemblance, que la roſée peut nuire aux animaux que l'on mene paître trop matin, & qu'elle peut diminuer la fécondité des terres lorſquelle eſt trop abondante: car quoique cette vapeur ne ſoit pour la plus grande partie que de l'eau, on ne peut nier qu'elle n'emporte avec elle d'autres ſubſtances qui varient, ſoit pour la quantité, ſoit pour la qualité, ſelon les lieux, ſelon les degrés de chaleur, & ſelon les plantes d'où elle tranſpire. Ce qui prouve bien que la roſée n'eſt pas de l'eau pure, c'eſt qu'elle ſe corrompt, & qu'elle dépoſe lorſqu'on la garde dans des bouteilles. On peut attribuer auſſi à la roſée, ou au ſerein qui tombe, ces couches légéres de matieres graſſes & ſulfureuſes qui ſe font remarquer par leurs couleurs d'iris à la ſurface des eaux dormantes après pluſieurs jours d'un temps ſerein, pendant lequel on ne voit tomber du ciel rien

autre chose qui puisse causer cet effet.

XI. LEÇON.

Il y a même des cas où la partie aqueuse de la rosée n'est pas la plus abondante : alors ce qui exsude de la plante ou de l'arbre, est un suc qui s'épaissit à mesure que l'humidité s'évapore ; telles sont certaines gommes & quelques especes de mannes dont la médecine fait usage.

Or puisque la rosée est une vapeur qui contient un extrait des matieres minérales ou végétales d'où elle sort, il n'est point douteux qu'elle ne puisse avoir des qualités bonnes ou mauvaises, selon la nature des principes dont elle est chargée. Mais comme en différents lieux il naît différentes plantes, que la nature y varie de même ses autres productions, & que la chaleur qui anime les exhalaisons n'est ni toujours ni par-tout également forte, on doit présumer que la rosée & le serein changent de qualités suivant les temps & les lieux, & que les effets dont l'une ou l'autre seroit capable en telle saison ou en tel climat, n'auroit pas lieu ailleurs, ou dans un autre temps. A Rome, & dans ses environs, par exemple, il

XI. LEÇON.

eſt dangereux, dit-on, de prendre l'air le ſoir ; à Paris, on le peut faire impunément : c'eſt qu'ici le ſerein n'eſt preſque autre choſe qu'un peu d'humidité, au lieu qu'en Italie cette vapeur eſt chargée apparemment d'exhalaiſons nuiſibles, qui tiennent de la nature du terrein, & dont la quantité répond au grand chaud du climat ; ainſi l'on ne peut gueres prononcer en général ſur cette matiere.

Vers la fin de l'automne, quand les nuits commençent à être longues, la terre a plus de temps pour ſe refroidir, & très-ſouvent ſa ſurface & les corps qui ſont iſolés ſont aſſez froids, pour glacer les particules d'eau dont la roſée tombante a coutume de les couvrir ; alors au lieu d'humidité on apperçoit ſur le gazon, ſur les toîts des bâtiments, &c. une couche de petits glaçons fort menus, que l'on nomme *Gelée blanche*, à cauſe de ſa couleur, & qui ne manque pas de ſe fondre & de ſe diſſiper dès que le ſoleil commence à faire ſentir ſa chaleur.

La roſée, ou la gelée blanche qui a été fondue, ſe diſſipe de deux manieres ; elle rentre dans les terres ari-

des & dans les corps poreux qui ont plus de disposition à l'absorber que l'air de l'atmosphere ; mais le plus souvent elle s'éleve de nouveau, soit qu'une médiocre raréfaction mette l'atmosphere en état de la pomper, soit qu'un vent fort doux y transporte un air plus sec que celui sous lequel elle étoit.

Assez souvent, quand la rosée remonte, elle diminue la transparence de l'atmosphere, parce qu'alors les parties de cette vapeur sont beaucoup plus grossieres, & qu'elles s'élevent plus lentement. Ces deux causes qui naissent l'une de l'autre, doivent nécessairement rendre l'air opaque ; 1°. parce qu'un corps transparent l'est d'autant moins que ses parties différent davantage par leur densité, comme nous le prouverons par la suite ; 2°. parce que la vapeur qui monte lentement, s'étend moins & devient plus dense.

Mais cette opacité que fait naître la rosée qui remonte, ne s'empare presque jamais d'une grande portion de l'atmosphere ; elle se cantonne, pour ainsi dire, & devient plus forte

XI. LEÇON.

dans les lieux bas & humides, & au-deſſus des prairies, que par-tout ailleurs, parce que, comme nous l'avons déja dit, la roſée retombe à proportion de ce qu'il s'en éleve; & ſi le temps eſt calme, elle doit être plus abondante le matin, aux endroits qui en fourniſſent une plus grande quantité pendant la nuit. C'eſt par cette raiſon ſans doute, qu'on ne voit gueres au-deſſus des Villes & des lieux arides, l'atmoſphere obſcurcie par la roſée qui remonte, mais bien plus ſouvent au voiſinage des rivieres, des étangs & des herbages.

Un préjugé généralement reçu & fondé ſur les apparences, avoit établi, touchant la roſée & le ſerein, des idées bien fauſſes qui ont été diſſipées dans ces derniers temps par MM. Gerſten, Muſchenbroek & Dufay. Le Lecteur qui ne voudra rien ignorer de ce que l'on ſait ſur cette matiere, doit parcourir leurs écrits, * où il trouvera un grand nombre d'expériences ingénieuſes & d'obſervations auſſi curieuſes que nouvelles. De tous les faits qui y ſont rapportés, celui qui ſurprend davantage, c'eſt que

* *Chriſt. Lud. Gerſten, ſentam. Francof.* 1733.

* *Eſſais de Phyſ. p.* 753

* *Mém. de l'Académie des Sciences,* 1736. *p.* 352.

que le ſerein ou la roſée ſemble éviter certains corps, tandis qu'ils s'attachent facilement aux autres : le verre, la porcelaine, & quantité d'autres matieres ſe mouillent conſidérablement, tandis que des morceaux de métal poli, de quelqu'étendue qu'ils ſoient, expoſés au même lieu, demeurent conſtamment ſecs ; & cette eſpece de préférence eſt ſi marquée, qu'un écu placé au milieu d'un grand plat de fayance, ou de verre, ne reçoit pas la moindre humidité, quoique le reſte du vaiſſeau ſoit tout mouillé.

XI. LEÇON.

Une certaine diſpoſition de l'atmoſphere, & un concours de circonſtances qu'il ſeroit fort difficile de marquer avec préciſion, déterminent quelquefois une grande quantité de vapeurs groſſieres à s'élever à-peu-près comme la roſée qui remonte : alors ces vapeurs qui s'élevent à peine, s'étendent uniformément dans la partie baſſe de l'atmoſphere, & la rendent opaque, tout le temps qu'elles y demeurent ſuſpendues.

Toutes ces vapeurs flottantes & baſſes, tant celles qui viennent de la

XI. LEÇON.

roſée du matin, que celles qui naiſſent dans d'autre temps, & d'une maniere différente, ſe nomment *Brouillards*. Ce n'eſt ordinairement que de l'eau ; mais quelquefois il s'y mêle des exhalaiſons qui ſe manifeſtent par leur mauvaiſe odeur, par une certaine âcreté qui prend aux yeux, & par le dommage qu'elles cauſent aux fruits & aux grains. Il regne en certaines années des brouillards auxquels on attribue la *nielle* & la *rouille*, maladies aſſez communes au froment & au ſeigle : (*a*) quelques ſavants ont rejetté ſur ces mêmes cauſes, ce qu'on remarque à certains épis dont le grain devient noir & s'alonge en forme de corne, & que les Laboureurs appellent *Ergot* ou *Bled corné* ; la farine en eſt pernicieuſe ; on lui attribue une maladie qui regne quelquefois dans les campagnes, & qui eſt con-

(*a*) Voyez ce qu'ont écrit ſur ce ſujet MM. Duhamel du Monceau, & Tillet ; le premier dans ſon ouvrage intitulé : *Traité de la culture des terres*, tom. II. p. 158 & *ſuiv.* *Ibid.* tom. IV. p. 175, 263 & *ſuiv.* Le dernier dans ſa Diſſertation ſur la cauſe qui corrompt & noircit les grains de bleds dans les épis, &c. imprimée à Bordeaux en 1755. *in*-4° pag. 41. & *ſuiv.*

nue ſous le nom de *Feu Saint Antoine*; on prétend auſſi qu'elle donne la gangrene *.

XI. LEÇON.

En hyver les brouillards ſont plus fréquents qu'en été, parce que le froid qui regne dans l'air, condenſe promptement les vapeurs, & ne leur donne pas le temps de s'élever beaucoup; ſi le froid augmente, le brouillard ſe gele & s'attache aux branches des arbres, aux plantes ſeches, aux cheveux des voyageurs, aux crins des chevaux, & généralement à tout ce qui s'y trouve expoſé; c'eſt ce qu'on appelle *Givre* ou *Frimats*.

Quand les brouillards ou les vapeurs qui ſont propres à les former, peuvent s'élever aſſez haut, il s'en fait des amas qui flottent au gré des vents dans l'atmoſphere; ce ſont ces *nuées* que nous voyons ſuſpendues de côtés & d'autres au-deſſus de nous, & qui nous cachent de temps en temps le ſoleil & les autres aſtres par leur opacité; leurs figures & leurs grandeurs varient à l'infini, ſelon la quantité des vapeurs qui les forment, & ſelon la maniere dont elles s'arrangent en s'uniſſant, ce qui dépend

* *Hiſt de l'Ac des Sc.* 1710. *p.* 61. *Jours des Sa. Mars* 1676.

XI. LEÇON.

beaucoup de la direction & des différents degrés de vîteſſe que les vents leur donnent.

Les nuées ne ſont pas toutes également élevées, parce que, comme il faut qu'elles ſoient toujours en équilibre avec l'air dans lequel elles flottent, & que ce fluide eſt plus rare à une plus grande diſtance de la terre, les vapeurs les plus ſubtiliſées peuvent ſe ſoutenir où les plus groſſieres ſe trouveroient trop peſantes; c'eſt pourquoi ces nuages épais qui ſont prêts à fondre en pluie, ſont ordinairement fort bas. Ceux qui voyagent ſur les hautes montagnes, comme celles des Alpes ou des Pyrénées, paſſent ſouvent au travers des nuages qui dérobent la terre à leurs yeux, après leur avoir caché le ciel; les moins attentifs ne manquent point d'obſerver qu'à ces hauteurs la terre eſt toujours fort humectée par les nuages qui viennent s'y briſer, ce qui contribue beaucoup à entretenir ces torrens & ces ſources qu'on voit ſi fréquemment au pied & aux environs de ces mêmes montagnes. Ainſi dans le temps même qu'il ne pleut

point, les nuées ſont autant de voies d'eau que les vents diſtribuent en différentes contrées, & qui vont s'épuiſer contre les montagnes, d'où elles ſe répandent enſuite dans les plaines par les canaux ſouterreins que la nature y a pratiqués. Mais les nuées ne s'épuiſent pas toujours de cette maniere; le plus ſouvent elles s'épaiſſiſſent, ſoit par l'action des vents qui les pouſſent les unes contre les autres, ſoit par la condenſation de l'air qui les porte; & alors leurs parties réunies en gouttes deviennent trop peſantes, & ſont, en tombant, ce qu'on nomme *la pluie.*

XI. LEÇON.

Lorſque cette condenſation ſe fait lentement, ou que les vapeurs tombent ſeulement parce que l'air qui les ſoutient ſe raréfie, comme il arrive quelquefois après un brouillard du matin, les gouttes demeurent très-petites; la pluie qu'elles forment eſt très-fine, & ſe nomme communément *Bruine.* Au contraire, quand les vapeurs ſe condenſent précipitamment, & dans une partie peu élevée de l'atmoſphere, où l'air a plus de denſité, les gouttes acquierent plus de groſ-

XL LEÇON.

seur, & elles demeurent plus écartées les unes des autres, comme on l'observe presque toujours dans les pluies d'orage.

Les refroidissements qui se font dans la région des nuages, non-seulement condensent les vapeurs & les convertissent en pluies; il arrive souvent que le froid est assez considérable pour les geler : elles tombent alors ou en *neige* ou en *grêle*; en neige si la congélation saisit les vapeurs avant qu'elles se soient réunies en grosses gouttes; car ces glaçons infiniment petits s'unissant mal entr'eux, ne peuvent composer que des flocons fort légers: en grêle, si les particules d'eau ont le temps de se joindre avant que d'être prises par la gelée.

La grêle ne devroit jamais être naturellement plus grosse que des gouttes de pluie; si l'on en voit quelquefois tomber qui égale en grosseur une noix ou un œuf, c'est que plusieurs grains s'unissent ensemble en tombant; ou bien lorsqu'ils ont reçu un degré de froid suffisant, ils gelent toutes les particules d'eau qu'ils touchent dans leur chûte; & ils devien-

nent comme les noyaux de plusieurs couches de glace qui augmentent beaucoup leur volume & leur poids. C'est pour cela que la grosse grêle est toujours fort anguleuse, & que les grains qui sont arrondis ne sont jamais d'une densité uniforme, depuis la surface jusqu'au centre. XI. LEÇON.

On a vu, quoiqu'assez rarement, tomber en forme de pluie ou de grêle, des matieres qui n'étoient point de l'eau. En 1695, il tomba en Irlande une pluie grasse & visqueuse qui demeura 14 ou 15 jours dans les endroits où elle s'étoit amassée, & qui devint noire en se séchant. Dans les Mémoires de Breslaw *, il est fait mention d'une pluie de soufre qui mit l'allarme dans la ville de Brunswick. Les habitants de Copenhague, en 1649, ramasserent aussi du soufre dans les rues après une grosse pluie qui en avoit fortement l'odeur. Scheuchzer observa, en 1677, une poudre jaune qui tomba abondamment, & qu'on auroit volontiers prise pour du soufre; mais en l'examinant avec attention, il se détermina à croire que cette matiere venoit de la

* Octobre 1721.

XI LEÇON.

fleur des jeunes pins, qui ſont fort communs dans les environs du lac de Zurich, où il fit cette obſervation. On a vu des pluies de ſable à une diſtance aſſez conſidérable de la mer ; c'étoit ſans doute un effet du vent ou de la tempête, comme les pluies de cendres & de pierres, ſi on peut les nommer ainſi, ſont cauſées par les éruptions des volcans.

Au reſte, quand il arrive de ces ſortes de phénomenes, on doit, avant que de prononcer, les examiner avec beaucoup de circonſpection, & ne point céder précipitamment aux premieres apparences ; car ordinairement l'attention d'un obſervateur intelligent diſſipe une fauſſe merveille, & dévoile une vérité obſcurcie par les circonſtances. Si l'on jugeoit, par exemple, ſans autre examen, que tout ce qu'on apperçoit de nouveau ſur la terre, après ou pendant la pluie, vient, comme les gouttes d'eau, de la nuée ou de l'atmoſphere, on croiroit, comme le vulgaire, qu'il pleut quelquefois des crapauds, du ſang, du grain, &c. Mais quand on ſait que tous les animaux, juſqu'aux reptiles & aux

aux insectes, ont une génération réglée, & qui se fait toujours par les mêmes voies dans chaque espèce; que le crapaud, à-peu-près comme la grenouille, vient d'un frai trop gros & trop pesant pour s'élever comme les vapeurs; & que la femelle qui le fait, & le mâle qui la féconde, ne peuvent se soutenir en l'air; on trouve qu'il est plus raisonnable de penser, que tous ces petits animaux nouvellement éclos, & cachés sous des herbes ou ailleurs, sont déterminés par la pluie à sortir de leurs retraites, que de croire qu'ils viennent de naître fortuitement, & qu'ils ont pu tomber contre la terre la plus dure & la plus battue, sans s'écraser. XI. LEÇON.

Des taches rouges, dont les murailles & les couvertures des maisons se sont trouvées teintes en différens temps, ont fait croire au peuple ignorant & préoccupé par la crainte, qu'il avoit plu du sang; les Historiens * même n'ont pas manqué de transmettre à la postérité ces phénomenes effrayans, & de les joindre à des événemens contemporains, jusqu'à ce qu'enfin quelques Savans

* *Plutarque, Dion, Tite-Live, Pline, &c.*

* *Peiresq.* * *Meret.*

XI. LEÇON.

plus attentifs remarquerent que la prétendue pluie de ſang avoit marqué des endroits couverts, comme le deſſous des entablemens des portes & des fenêtres, & qu'immédiatement après, l'air ſe trouvoit rempli d'une multitude inombrable d'inſectes d'une même eſpèce.

La premiere de ces deux obſervations prouve d'abord & ſans replique que les taches rouges n'étoient point les veſtiges d'une pluie qui fût tombée d'en haut. La ſeconde fit connoître avec le temps quelle étoit leur véritable origine : voici comment on expliqua le fait après un peu de réflexion.

Quand un papillon ſort de ſa chryſalide, il dépoſe toujours deux ou trois gouttes d'une ſéroſité rouge qui reſſemble aſſez à du ſang; or il y a telle circonſtance de temps, où il en naît un nombre prodigieux; car cette eſpèce d'inſectes, comme la plupart des autres, eſt extrêmement féconde, & ſi tous les œufs venoient à bien, nous en ſerions fort incommodés : on ſe ſouvient encore du dommage que cauſa une ſeule eſpèce

de chenille aux environs de Paris, pendant l'été de 1735 ; il ne reſta point de légumes dans les marais, & juſqu'au gramen, tout fut rongé dans les jardins & dans les champs. Lors donc qu'un pareil nombre de chenilles devenues chryſalides ſe changent en papillons, combien ne doit-on pas voir de taches rouges, quand c'eſt une eſpece qui s'attache aux murs & aux bâtimens ; car il y en a beaucoup qui ſe mettent en terre, ou qui ſe branchent aux tiges des plantes, & alors on n'apperçoit preſque point les traces de leur métamorphoſe.

XI. LEÇON.

Les pluies de grains n'ont pas plus de réalité que celles de ſang. Il eſt vrai qu'on a vu quelquefois après une groſſe pluie, la terre couverte d'une grande quantité de menus grains qui ont une ſorte de reſſemblance avec le froment : les Payſans qui les ont ramaſſés, & qui ont eſſayé d'en faire du pain, n'ont pas manqué de croire qu'il étoit tombé du Ciel ; & ſuivant la maniere de penſer du peuple, ils en ont tiré des conjectures ſur la diſette ou ſur l'abondance ; mais des

XI. LEÇON.

personnes plus éclairées, & moins susceptibles de préjugés, ont reconnu que ces grains étoient des petites bulbes, qui se forment en grande quantité aux racines d'une espèce de renoncule qu'on nomme la *petite chelidoine*, & alors tout le merveilleux disparoît : car on sait que les racines de cette plante sont très-déliées, & à fleur de terre; ce sont de petits filets rampans, qui se dessechent, & qui disparoissent; & leurs bulbes qui ont plus de consistance, demeurent isolées, & ressemblent un peu à des grains répandus sur la terre.

Comme les nuées sont des amas de vapeurs, il s'en fait plus que par-tout ailleurs au-dessus des mers & des grands lacs, où l'évaporation est plus abondante. C'est pourquoi, toutes choses égales d'ailleurs, les pluies sont plus fréquentes dans le voisinage des côtes, que dans le milieu des continens ou des grandes isles. En Hollande, par exemple, il y pleut communément davantage qu'aux environs de Paris; & quand le vent est au Sud ou à l'Ouest, nous avons ordinairement un temps pluvieux à cause

de la Méditerranée & de l'Océan, dont nous ne ſommes point fort éloignés. XI. LEÇON.

On meſure continuellement à l'Obſervatoire Royal, la quantité de pluie qui tombe pendant le cours de l'année, comme on fait depuis long-temps en Angleterre, en Italie, en Hollande, & dans pluſieurs Villes d'Allemagne. Ces ſortes d'obſervations ſe font par le moyen d'un vaſe quarré ou cylindrique, gradué par dedans ſelon ſa hauteur, que l'on expoſe dans un lieu découvert, mais cependant à l'abri du vent. Chaque fois qu'il pleut, on marque ſur un journal de combien de lignes l'eau s'eſt élevée dans le vaiſſeau; & au bout de l'année, en additionnant toutes ces quantités, on voit quelle eſt la ſomme totale de la pluie qui a tombé pendant les douze mois. En procédant ainſi, on a appris que dans les années moyennes il tombe à Paris environ 19 pouces d'eau; à Londres 37 pouces $\frac{1}{2}$ meſure d'Angleterre, ce qui fait environ 35 pouces de France; à Rome 20 pouces; à Zurich en Suiſſe 32 pouces; à Utrecht 24 pouces *.

* *Environ 23 pouces meſure de France.*

XI. LEÇON.

La pluie purifie l'atmoſphere, en précipitant avec elle toutes les exhalaiſons qui s'y amaſſent pendant la ſéchereſſe, & dont la trop grande quantité corromproit l'air, & cauſeroit des maladies épidémiques. On s'apperçoit ſenſiblement de cet effet, non-ſeulement parce qu'on reſpire plus à ſon aiſe, mais encore parce que l'air devient plus tranſparent; les objets s'apperçoivent plus diſtinctement & de plus loin, & jamais les lunettes à longue vue ne font auſſi bien qu'après une groſſe pluie, & par un temps calme.

Un autre effet de la pluie, & qui nous eſt encore très-avantageux, c'eſt de rafraîchir l'air, & de modérer la chaleur, qui nous incommode ſouvent dans certaines ſaiſons. On en reconnoît bientôt la cauſe quand on ſait que la région des nuages eſt preſque toujours beaucoup plus froide, que cette partie de l'atmoſphere où nous ſommes. C'eſt un fait que ne peuvent ignorer ceux qui ont vu la cime des montagnes couverte de neige, lorſqu'il fait encore aſſez chaud dans les lieux bas. Ainſi, quand il

pleut en été, c'eſt de l'eau froide qui ſe filtre au travers d'un air plus chaud qu'elle ; celui-ci perd néceſſairement une partie de ſa chaleur.

XI. LEÇON.

Mais de tous les bons effets de la pluie, il n'en eſt pas dont nous ayons plus de beſoin, & qui tourne plus directement à notre avantage que la part qu'elle a à la fertilité de la terre : quand elle manque trop long-temps, & que rien n'y ſupplée, tout devient aride dans les champs, & leur culture demeure ſans ſuccès ; mais lorſqu'elle les arroſe modérément, elle amollit la terre, elle entretient la ſoupleſſe des plantes, elle développe les germes, elle réunit les principes de la ſeve, & lui ſert de véhicule pour l'introduire dans les racines, & pour la diſtribuer à la tige & aux branches.

Comme les vapeurs qui doivent retomber en pluie, élevent avec elles ou rencontrent dans l'atmoſphere, les parties les plus ſubtiles de toutes ces ſubſtances que la nature fait entrer dans la compoſition des mixtes, les ſels, les ſoufres, les huiles, *&c.* les nuages agités par les vents, tranſportent tous ces principes d'un lieu dans

XI. LEÇON.

un autre, & les diſtribuent de maniere qu'ils ne tariſſent jamais. C'eſt donc pour leur donner le temps de ſe raſſembler, qu'on laiſſe repoſer les terres épuiſées, ou qu'on y varie les ſemences : car une plante peut ſouvent ſe paſſer, de ce qu'une autre tire de la terre.

Les pluies peuvent avoir auſſi de mauvais effets, comme elles en ont de bons, lorſqu'elles ſont froides ou trop fréquentes ; lorſqu'elles tombent hors de ſaiſon, elles retardent les progrès de la végétation, & la maturité des fruits; elles pourriſſent les moiſſons & font germer le grain ſur les champs ; elles font périr le gibier ; elles gâtent les chemins ; elles rendent impraticables la navigation des rivieres, par les débordemens & les inondations qu'elles cauſent; & tous ces fâcheux effets incommodent le commerce & occaſionnent la diſette.

On voit aſſez ſouvent ſur mer, & beaucoup plus rarement ſur terre, un phénomene ſurprenant & très-dangereux, qu'on appelle *Trombe* : c'eſt une nuée épaiſſe, qui s'alonge de haut en bas, en forme de colonne cylindrique

ou de cône renverſé ; elle jette autour d'elle beaucoup de pluie ou de grêle, & fait entendre un bruit ſemblable à celui d'une mer fortement agitée ; elle renverſe les arbres & les maiſons par-tout où elle paſſe, & lorſqu'elle s'abat ſur un vaiſſeau, elle ne manque guere de le ſubmerger. Les gens de mer qui connoiſſent ce danger, s'en éloignent le plus qu'ils peuvent ; & quand ils ne peuvent éviter d'en approcher, ils tâchent de la rompre à coups de canon, avant que d'être deſſous, pour prévenir l'inondation dont ils ſont menacés. Peu d'obſervateurs ont eu le loiſir d'examiner de près ces ſortes d'accidens, & par cette raiſon, l'on n'eſt pas encore bien inſtruit de la maniere dont ils naiſſent. On croit *, avec aſſez de vraiſemblance, que la nuée déterminée à tourner par la double impulſion de deux vents contraires, & dont les directions ſont paralleles, prend la forme d'un tourbillon d'eau, qui s'alonge & s'élargit plus ou moins, ſuivant la vîteſſe avec laquelle il tourne, & ſuivant l'étendue en hauteur des vents qui l'agitent.

XI. LEÇON.

* *Hiſt. de l'Acad. des Sc.* 1717. p. 5.

XI. LEÇON.

J'aurois encore bien des choſes à dire touchant les météores aqueux ; mais je paſſerois les bornes que je me ſuis preſcrites dans un ouvrage, où je me ſuis moins propoſé de donner une hiſtoire complette des effets naturels, que d'expoſer les cauſes de ceux qui ſont les plus connus & les plus intéreſſants : le Lecteur qui déſirera d'en ſavoir davantage, pourra conſulter les Auteurs * qui ont écrit ſur cette matiere *ex profeſſo*, & les Mém. des principales Académies, où l'on trouve un recueil d'Obſervations Météorologiques pour chaque année.

* *Stanhuſius, Reſta, Dechales, Ceſten, Muſch, &c.*

ARTICLE II.

De l'Atmoſphere conſidérée comme un Fluide en mouvement.

On obſerve principalement deux ſortes de mouvements dans l'air de l'atmoſphere, l'un eſt une eſpece de frémiſſement imprimé aux parties de ce fluide, & qui les agite quelques inſtants, ſans les déplacer ; (*a*) l'au-

(*a*) On pourroit dire contre cette définition que le bruit du canon caſſe les vitres d'un appartement voiſin, ce qui ne peut ſe faire ſans

tre eſt un déplacement ſucceſſif qui ſe fait d'un grand volume d'air, avec une vîteſſe ſenſible & une direction déterminée. Le premier de ces deux mouvements s'appelle *ſon ;* le dernier eſt ce qu'on nomme le *vent.*

XI. LEÇON.

Du ſon en général.

Le ſon naît communément du choc ou de la colliſion de deux corps, dont les parties ébranlées font frémir comme elles, & de toutes les parts juſqu'à une certaine diſtance, le fluide qui les environne ; & ce frémiſſement ſe communique aux autres corps qui en ſont ſuſceptibles, & qui ſe rencontrent dans cette ſphere d'activité ; de ſorte que la même cloche que l'on fait ſonner, peut ſe faire entendre à un nombre infini de perſonnes placées aux environs. On peut donc conſidé-

un déplacement ſenſible de la maſſe d'air qui les touche, & qui les enfonce ; mais on verra aiſément par tout ce qui ſera expoſé dans cet article que cette commotion violente de l'air peut bien quelquefois accompagner le ſon ou le bruit, mais qu'elle ne lui eſt point eſſentielle, & qu'elle ne ſe rencontre pas dans les cas les plus ordinaires.

XI. LEÇON.

rer le ſon, 1°. dans le corps ſonore, 2°. dans le milieu qui le tranſmet, 3°. dans l'organe qui en reçoit l'impreſſion. On pourroit encore tenter de le ſuivre juſques dans l'ame qui en perçoit l'idée ; mais c'eſt une entrepriſe qui appartient à la métaphyſique, & qui n'eſt point de mon reſſort : j'en uſerai pour l'ouie, comme j'ai fait pour les autres ſens ; je me contenterai de conduire l'objet juſqu'à la partie de l'organe, où s'accomplit la ſenſation, & je me diſpenſerai d'examiner comment naiſſent les idées, à l'occaſion de l'objet ſenſible.

Des Corps Sonores.

On appelle *Corps Sonores* proprement dits, ceux dont les ſons, après le choc ou le frottement qui les fait naître, ſont diſtincts, comparables entr'eux, & de quelque durée. Car on ne doit pas nommer ainſi ceux dont la chûte ou l'ébranlement ne fait entendre qu'un bruit confus ou ſubit, tels qu'un tombereau que l'on décharge, le mercure d'une eau courante, ou le mugiſſement des flots

agités. Or on remarque qu'il n'y a que les corps élaſtiques qui ſoient véritablement ſonores, ſuivant cette définition ; & que le ſon qu'ils rendent, eſt toujours proportionnel à leurs vibrations, ſoit pour la durée, ſoit pour l'intenſité ou la force.

PREMIERE EXPERIENCE.

PREPARATION.

LA *Fig.* 2. repréſente une cloche de verre ſuſpendue fixement entre deux montants qui ſont élevés ſur une baſe ; on frappe légérement pluſieurs coups ſur les bords de cette cloche, pour la faire ſonner ; & auſſi-tôt on fait avancer la vis *A* qui a ſon écrou dans l'épaiſſeur du montant : & on la fait avancer, juſqu'à ce que le bout ſoit fort près de la cloche ſans la toucher.

EFFETS.

On entend un petit frémiſſement du verre contre la pointe de la vis, & ce bruit dure autant que le ſon de la cloche ſubſiſte.

XI. LEÇON.

consiſtent ſes vibrations. Ainſi la même partie de la cloche *a*, par exemple, ſe portant d'*f* en *g* & de *g* en *f*, ſucceſſivement avec une grande viteſſe, heurte autant de fois le bout de la vis, & fait entendre ce frémiſſement qui a été le principal effet de la premiere expérience.

Mais cet anneau circulaire ne peut devenir ovale qu'à deux conditions: 1^ment^. Il faut qu'à deux endroits oppoſés de ſa circonférence, les petites lames, ou les petits filets qui le compoſent, ſe plient d'abord davantage, & enſuite moins qu'ils ne le ſont, lorſqu'ils compoſent un cercle: 2^ment^. Il eſt néceſſaire qu'aux endroits de la plus grande courbure, celles de ces parties qui forment les couches extérieures, s'écartent les unes des autres, plus qu'elles ne le ſont dans leur état ordinaire.

Quant à la corde tendue, il faut auſſi ſe ſouvenir de ce que nous en avons dit* en parlant des loix du reſſort: « Que ſes vibrations qui nous la » font voir ſous la figure d'un paral» lélogramme, (parce qu'elles ſont toujours très-promptes, & que les impreſſions

* *Tom. I. p.* 309.

impreſſions qui nous la repréſentent, faiſant un angle en haut ; ſubſiſtent encore au fond de l'œil, lorſqu'il en naît d'autres qui nous la font voir, faiſant un angle en bas ;) » que ces » vibrations, dis-je, ſe font en con- » ſéquence de la réaction de toutes » les petites fibres, dont elle eſt com- » poſée ». Car lorſque cette corde devient angulaire, elle eſt plus longue que quand elle tend en droite ligne d'un point fixe à l'autre. Il faut donc que ſes moindres parties s'écartent un peu les unes des autres, pour ſe prêter à cet alongement, & qu'elles ſe rapprochent, pour ſe réduire dans la premiere longueur.

XI. LEÇON.

Ainſi dans la corde, comme dans la cloche, lorſqu'on excite le ſon, je conçois deux ſortes de vibrations, les unes que j'appellerai *totales*, par ce qu'elles ſont du corps ſonore tout entier, je veux dire, celles qui rendent les zones de la cloche ovales, de circulaires qu'elles ſont, & qui nous font voir une corde de viole ou de clavecin ſous la figure d'un parallélogramme ; les autres que je nommerai *particulieres*, qui appar-

XI. LEÇON.

tiennent aux parties insensibles, & qu'on peut regarder comme les éléments des premieres.

On avoit toujours cru que les corps étoient sonores par leurs vibrations totales; mais on s'est désabusé de cette fausse idée, & c'est principalement à MM. Perault, Carré & de la Hire, qu'on doit cette correction. Le dernier de ces trois Académiciens prouve par une expérience bien simple, que le son consiste essentiellement dans les vibrations particulieres des parties insensibles: « Que l'on tienne, dit-il, * une pincette suspendue sur le doigt, & qu'avec l'autre main on presse les deux branches pour les laisser échapper ensuite; elles se mettent en vibrations, mais elles demeurent muettes: au lieu de les mettre en jeu de cette maniere, qu'on frappe dessus avec un doigt ou avec quelqu'autre corps solide, elles feront encore des vibrations comme dans la premiere épreuve, mais pour cette fois elles auront un son très-intelligible: qu'y a-t-il de plus ici, sinon un tremblement dans les parties du fer, & que

* *Voyez les Mém. de l'Ac. pour l'année 1716. p. 264.*

» l'on ſent quand on y porte douce-
» ment la main ? »

XI. LEÇON.

C'eſt donc à des parties qui frémiſſent que le ſon doit être attribué ; & après cette expérience on doit être perſuadé, que toutes les fois qu'il ſera poſſible de ſéparer ces deux eſpeces de vibrations, on n'aura jamais aucun ſon avec celles que nous appellons totales ; mais quand celles-ci naiſſent des autres, (& c'eſt le cas le plus ordinaire) quoiqu'elles ne faſſent point le ſon par elles-mêmes, elles en réglent cependant la force, la durée & les modifications.

APPLICATIONS.

L'EXPLICATION des deux expériences précédentes peut ſervir à rendre raiſon de pluſieurs faits qui ont rapport à cette matiere, & qui méritent attention. Pourquoi, par exemple, fait-on les cloches d'un métal compoſé d'étain & de cuivre rouge ? C'eſt que tout métal compoſé eſt plus dur, plus roide, & par conſéquent plus élaſtique que les métaux ſimples qui entrent dans le mélange : & comme les corps ſonores le ſont d'autant plus

XI. LEÇON.

que leurs parties ont plus de reſſort, on allie la matiere des cloches & des timbres pour en tirer plus de ſon. La plûpart des ſonnettes cependant ne ſont que de cuivre; mais c'eſt un mauvais cuivre, un métal devenu aigre, que les ouvriers appellent *Potain*: comme cette matiere eſt fort roide & caſſante, elle eſt plus ſonore que ne ſeroit un cuivre neuf & plus doux qu'on nomme *Roſette*. Quand on fait des ſonnettes d'argent pour les cabinets, elles ne peuvent avoir qu'un aſſez mauvais ſon, ſi le métal eſt ſans alliage, ou ſi l'on n'y ſupplée, en le forgeant à froid, ce qui lui donne plus de reſſort.

On fait ſubitement ceſſer le ſon d'une cloche, en la touchant avec la main ou avec quelqu'autre corps, parce qu'on interrompt les vibrations. C'eſt pour cela que les timbres des horloges, lorſqu'ils ſont couverts de neige, ne ſonnent que ſourdement, ainſi que les tambours que l'on couvre d'étoffe dans les cérémonies lugubres. Par la même raiſon une cloche fendue ne peut continuer ſes vibrations, parce que les bords de la

fente se heurtent réciproquement, & font, l'un à l'égard de l'autre, ce que pourroit faire un corps étranger qui toucheroit la cloche. Le son seroit probablement moins interrompu, si au lieu d'avoir une simple félure, la cloche étoit entr'ouverte de la largeur d'un travers de doigt ou davantage. On peut remarquer encore que les Horlogers ont toujours soin que les marteaux des timbres soient relevés subitement après le coup par un ressort, afin que le même corps qui a excité le son ne l'altere pas, en restant trop long-temps appliqué au corps sonore.

XI. LEÇON.

Puisque le son n'est jamais qu'une suite de vibrations, on doit concevoir qu'il n'y en a point qui soit absolument continu; s'il nous paroît tel, c'est que le silence d'une vibration à l'autre est trop court pour être apperçu. Rien n'est plus propre à faire sentir cette vérité qu'un instrument à anche, comme le haut-bois ou la musette: une anche est composée de deux lames à ressort & fort minces, de métal, de bois ou de quelque autre matiere; elles sont jointes par

XI. LEÇON.

un bout, & forment enſemble un petit tuyau ; par l'autre bout elles ſont plates, & s'approchent de fort près ſans ſe toucher. Lorſque le ſouffle de la bouche ou le vent d'un ſoufflet met l'anche en jeu, les deux lames battent l'une contre l'autre avec une viteſſe extrême, & rendent un ſon qui paroît auſſi continu que celui d'une flûte ou d'un violon. Cependant puiſque ce ſon vient des coups multipliés d'une lame ſur l'autre, il eſt inconteſtable qu'il y a un petit intervalle entre les battements, & que le ſon qu'elles rendent n'eſt point continu.

C'eſt une méchanique aſſez ſemblable à celle d'une anche, qui fait la voix de la plûpart des inſectes ; car c'eſt une erreur de croire que le bourdonnement des mouches, le cri des cigales, celui des ſauterelles & des grillons, vienne de la bouche de ces petits animaux, ou des organes par leſquels ils prennent leur nourriture : dans les uns c'eſt un certain battement des aîles ; dans les autres, c'eſt le jeu d'une eſpece de tambour, qu'ils ont quelquefois dans le ventre, comme la cigale ; & d'autre fois ſur le

dos vers le corcelet, comme il eſt aiſé de l'obſerver à certaines ſauterelles qui ſe retirent dans les buiſſons, & qui n'ont point d'aîles. XI. LEÇON.

Mais le ſon doit-il toujours ſon origine au choc ou aux battements de deux corps ſolides, comme celui d'une cloche qui eſt frappée par un marteau, ou celui d'une corde qui eſt pincée avec l'ongle, ou avec le bout d'une plume? Les fluides ne ſeroient-ils point ſonores par eux-mêmes? ou bien ceux-ci frappés par des corps durs, ne ſeroient-ils pas capables de rendre des ſons?

On ſait à quoi s'en tenir ſur ces queſtions, quand on réfléchit un peu ſur certains effets qui ſe préſentent journellement. Un coup de fouet qu'un charretier ou un poſtillon fait retentir, le bruiſſement d'une petite planchette qu'un enfant fait tourner rapidement au bout d'une ficelle, le ſifflement d'une baguette que l'on ſecoue avec une grande vîteſſe, qu'eſt-ce autre choſe que le ſon de l'air frappé par un corps dur! Dans tous ces cas, & dans une infinité d'autres, c'eſt donc un fluide qui réſonne, &

XI. LEÇON.

dont les parties ſe mettent en vibrations pour avoir été choquées par un corps ſolide. Dans le ſon d'un ſifflet, ou d'une flûte, je ne vois rien autre choſe qu'un certain volume d'air qui part de la bouche du joueur pour frapper une autre maſſe d'air contenue dans l'inſtrument : car je penſe que les vibrations du bois n'y entrent pour rien, (ſi ce n'eſt peut-être pour tranſmettre, avec plus ou moins d'éclat, le ſon qui eſt déja formé.) Ce qui me fait croire que les vibrations de la flûte ne participent point à la formation des ſons qu'elle rend, c'eſt qu'on la tient & qu'on la touche pendant qu'elle eſt en jeu, & que ſes vibrations, ſi elle en avoit, ceſſeroient par ces attouchements. L'inſtrument ne ſert donc, pour ainſi dire, que de meſure & d'enveloppe au volume d'air ſur lequel on ſouffle ; & l'on peut dire que tous les cas qui reſſemblent eſſentiellement à celui-ci, ſont autant d'exemples de ſons rendus par des fluides qui s'entrechoquent.

Il y a des gens, comme on ſait, qui caſſent un verre à boire par le ſon de leur voix, en préſentant l'ouverture

ture de la coupe devant leur bouche. Ce n'eſt pas, comme l'ont cru certaines perſonnes peu au fait de cette matiere, en prenant un ton aigre & diſſonant, ni comme l'a prétendu un Auteur * (qui a fait une diſſertation entiere ſur ce fait) que l'air agité par la voix pénetre le verre, & le force de s'ouvrir. C'eſt au contraire en prenant l'uniſſon du verre, & ſeulement en forçant la voix; car alors on augmente la grandeur des vibrations totales, & par conſéquent celles des vibrations particulieres d'où elles réſultent: mais comme ces dernieres ne peuvent ſe faire, ſans ques les parties du verre s'écartent les unes des autres, lorſqu'elles deviennent trop grandes, l'écartement de ces parties va juſqu'à ſéparation ou ſolution de continuité, & alors le verre tombe en pieces; en un mot, la voix forcée fait ſur le verre, ce que fait un archet que l'on traîne trop fort ſur une chanterelle. C'eſt encore ici un exemple du ſon excité, ou du moins augmenté, dans un corps ſolide par le choc d'un fluide.

XI. LEÇON.

* *Morhoff. de Siph. vitr. per cert. humanæ vocis ſonum fracto*

XI. LEÇON.

Du Milieu qui tranſmet les ſons.

Les vibrations d'un corps ſonore ſe paſſeroient dans un parfait ſilence, s'il n'y avoit entre lui & nous quelque matiere capable de recevoir & de tranſmettre cette eſpece de mouvement: car tel eſt l'ordre de la nature, qu'un corps n'agit point ſur un autre, s'il ne le touche par lui-même ou par quelque matiere interpoſée ; & de tous ceux qui ont imaginé des exceptions à cette loi générale, on peut dire qu'aucun n'en a encore donné des preuves ſuffiſantes. Mais quand bien même le corps ſonore agiroit ſur une matiere, la propagation du ſon n'auroit pas encore lieu, ſi cette matiere inflexible ou trop molle n'étoit capable de s'animer du même mouvement que lui. Voici donc deux conditions également néceſſaires & ſuffiſantes dans le milieu qui doit tranſmettre le ſon : 1^ment^, il doit avoir une certaine denſité, afin que ſes parties agiſſent aſſez fortement & aſſez librement les unes ſur les autres : 2^ment^, il doit être élaſtique, parce que le mouvement

de vibration naît du reſſort des parties. Les expériences qui vont ſuivre ſerviront de preuves à ces deux propoſitions.

XI. LEÇON.

III. EXPERIENCE.

PREPARATION.

On établit ſur la platine d'une machine pneumatique, *Fig.* 8. un petit mouvement d'horlogerie, qui, lorſqu'il eſt en jeu, fait mouvoir deux marteaux qui battent alternativement ſur un timbre. Cet inſtrument eſt monté ſur une baſe de plomb, qui eſt garnie par deſſous d'un couſſinet rempli de coton ou de laine (*a*); on couvre le tout d'un récipient qui eſt garni par en haut d'une boîte à cuirs: la tige de métal qui paſſe à travers, ſert à détendre le petit levier *F*, pour mettre le rouage en mouvement, auſſitôt qu'on a raréfié l'air du récipient le plus qu'il eſt poſſible.

EFFETS.

Si l'air eſt ſuffiſamment raréfié &

(*a*) Cet inſtrument eſt repréſenté plus en grand, *Tome I. 3e. Leçon, Pl. 2. Fig. 5.*

XI. LEÇON.

que la tige de la boîte à cuirs ne touche plus au levier de la détente, on voit battre les marteaux ſans entendre aucun ſon ; mais ſi l'inſtrument touche à la platine, au récipient ou à quelqu'autre corps dur qui communique au-dehors, comme la tige qui a ſervi à détendre le levier, on entend un peu le tact des marteaux.

IV. EXPERIENCE.

PREPARATION.

IL faut fixer une montre à réveil ſur une platine de plomb épaiſſe de 4 à 5 lignes, que l'on couvre enſuite d'un petit récipient dont on lute les bords ſur le plomb avec de la cire molle : on ſuſpend enſuite cet aſſemblage avec 4 fils qu'on réunit au-deſſus du récipient, pour le plonger dans un grand vaſe cylindrique qui contient environ 30 pintes d'eau, que l'on a purgée d'air. *Voyez la Fig.* 9.

EFFETS.

Lorſque le réveil vient à ſonner, on l'entend quoiqu'il ſoit environné de pluſieurs pouces d'eau de toutes

parts ; mais le ſon paroît fort affoibli.

XI. LEÇON.

EFFETS.

Un timbre qui fait ſes vibrations dans le vuide, ne les peut communiquer à rien ; par conſéquent, puiſqu'elles n'operent le ſon que quand elles ſe tranſmettent, elles doivent ſe paſſer dans le vuide avec un profond ſilence. A la vérité il n'y a point un vuide abſolu dans le récipient de notre expérience ; mais l'air qui y reſte eſt ſi raréfié, que ſes parties alors trop lâches n'ont point aſſez de réaction. Il manque à ce fluide la premiere des deux conditions que nous avons marquées ci-deſſus, c'eſt-à-dire, une denſité ſuffiſante qui mette les parties en état d'agir fortement les unes ſur les autres.

On dira peut-être qu'au défaut de l'air groſſier, il y a toujours dans ce vaiſſeau une matiere plus ſubtile, ne fût-ce que celle de la lumiere ou du feu ; mais apparemment que cette matiere, telle qu'elle ſoit, n'eſt point propre à la propagation du ſon, ſoit que ſon reſſort ne ſoit point analogue à celui des corps ſonores, ſoit que

ceux-ci n'ayent point de prise sur elle, à cause de l'extrême facilité avec laquelle elle pénetre tous les corps.

XI LEÇON.

Cette expérience du timbre ou d'une sonnette dans le vuide, si connue & tant répétée dans les colleges, a fait conclure à bien des gens, que l'air étoit le seul milieu propre à la propagation du son. Qu'il y soit propre & plus qu'un autre, cela n'est point douteux; qu'il soit le seul, je crois que c'est trop dire. Car pourquoi cette même expérience ne réussit-elle pas au gré de ceux qui la font, quand ils n'ont pas soin d'isoler le corps sonore, ou d'empêcher qu'il ne touche immédiatement la platine, le récipient ou quelqu'autre corps dur qui communique au-dehors? n'est ce point parce que le son se transmet par les corps solides qui ont communication d'une part avec le timbre, & de l'autre avec l'air extérieur?

D'ailleurs la quatrieme expérience ne nous laisse, ce me semble, sur cela aucun doute. Si le son ne pouvoit se transmettre que par l'air, pourquoi l'entendroit-on lorsque le corps sonore enfermé par le verre & par le

Fig. 6.

Fig. 7.

Fig. 3.

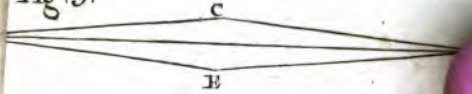


Fig. 1.

Fig. 9.

plomb, ſe trouve plongé dans un vaſe plein d'eau ? n'eſt-on pas forcé de reconnoître que le ſon ſe communique du réveil à l'air qui l'environne, de l'air au récipient, du récipient à l'eau, & de l'eau à l'air extérieur ?

XI. LEÇON.

Dira-t-on que cette communication ne ſe fait point par les parties propres du verre & de l'eau, mais par celles de l'air qu'ils contiennent, & qui ſe trouve naturellement dans tous les corps.

J'ai prévenu cette objection en me ſervant d'eau purgée d'air : & quand on m'objecteroit encore, que l'on n'ôte jamais tout l'air qui eſt dans l'eau, j'aurois à répondre que j'en ai ôté une grande partie, & que ſi cet air contribuoit néceſſairement à la propagation du ſon, je devrois au moins trouver une différence ſenſible, en répétant la même expérience avec pareille quantité d'eau non-purgée d'air ; ce que je n'ai cependant jamais apperçu, quelqu'attention que j'aye apporté.

Si quelque raiſon pouvoit faire douter que les parties de l'eau fuſſent capables par elles-mêmes de tranſ-

XI. LEÇON.

mettre les ſons, ce ſeroit l'opinion où l'on eſt communément, que les liqueurs ne ſont point compreſſibles; car ſi cela étoit à la rigueur, elles n'auroient pas de reſſort; & tout corps qui n'eſt point élaſtique, n'eſt point ſuſceptible d'un mouvement de vibration.

Mais ſur quel fondement a-t-on cru juſqu'ici que les liqueurs étoient incompreſſibles? C'eſt parce que les Académiciens de Florence, & pluſieurs autres Phyſiciens qui les ont éprouvées à cet égard, n'ont jamais pu reſtreindre leur volume par compreſſion. Mais cela ſuffit-il pour établir ſans reſtriction que les liquides ſont incompreſſibles? N'auroit-on pas conclu plus ſagement, que ſi elles ſe compriment par les efforts que nous ſommes en état d'employer contre elles, c'eſt d'une ſi petite quantité, que leur volume n'en diminue jamais ſenſiblement?

Aucun fait connu ne prouve donc l'incompreſſibilité abſolue de l'eau; j'ai expoſé ailleurs * des raiſons qui combattent fortement cette opinion; & il me ſemble que notre derniere ex-

* *Tome I. p 112 & ſ.*

périence acheve de la détruire : car ſi l'eau tranſmet le ſon, elle eſt élaſtique ; & ſi elle eſt élaſtique, il faut qu'elle ſoit compreſſible.

XI. LEÇON.

APPLICATIONS.

PUISQUE le ſon ſe tranſmet par les corps ſolides, comme le prouvent d'une maniere inconteſtable les précautions qu'il faut prendre pour faire réuſſir la premiere des deux expériences précédentes ; on ne doit plus être auſſi ſurpris d'un fait qui amuſe les enfants, & qui intéreſſe l'attention des perſonnes les plus ſérieuſes ; c'eſt d'entendre diſtinctement le choc d'une épingle contre l'extrémité d'une longue poutre, lorſqu'on a l'oreille à l'autre bout : car à cauſe de la contiguité des parties, ce choc eſt rendu à l'air qui touche le bout oppoſé de la piece de bois. Il eſt cependant toujours bien ſingulier que le bruit perde ſi peu de ſa force pour parvenir à une ſi grande diſtance, tandis qu'à peine peut-il être entendu à travers l'épaiſſeur de la même poutre ; c'eſt apparemment parce que les fibres longitudinales du bois ſont bien moins inter-

XL LEÇON.

rompues par leur porosité, que ne l'est l'assemblage de ces mêmes fibres qui fait l'épaisseur de la pièce.

Non-seulement le son excité dans l'eau se transmet à l'air de l'atmosphere, mais aussi celui qui naît dans l'air passe dans l'eau, & y fait sentir toutes ses modifications. J'ai eu la curiosité de me plonger exprès à différentes profondeurs dans une eau tranquille, & j'y ai entendu très-distinctement toutes sortes de sons, jusqu'aux articulations de la voix humaine.

Il est vrai que tous ces sons étoient fort affoiblis, sans doute parce que les parties de l'eau, beaucoup moins flexibles que celles de l'air, ne peuvent avoir des vibrations ni si amples ni d'une si longue durée: mais ce qu'il y a de remarquable, c'est que cet affoiblissement se fait presque tout entier au passage de l'air dans l'eau; car à trois pieds de profondeur, j'entendois presqu'aussi bien qu'à trois pouces.

C'est une question parmi les Naturalistes de savoir si les poissons ne sont pas sourds comme ils sont muets; & quoique les plus habiles * s'en

* *Pline*

ſoient mêlés, elle eſt encore indéciſe, au grand étonnement du vulgaire, qui juge toujours ſur les premieres apperences, & ſur l'analogie la moins approfondie. » Tous les autres animaux entendent; pourquoi » les poiſſons n'entendroient-ils pas ? » Les poiſſons fuient comme les oiſeaux quand on fait du bruit : les » uns comme les autres en ſont donc » effarouchés ? « Mais le vulgaire ne ſait pas qu'on ne connoît point d'oreilles aux poiſſons, ni rien qui en faſſe l'office ; il ignore auſſi qu'on a coutume de regarder l'eau qui eſt leur élément naturel, comme incapable de reſſort, & que dans cette ſuppoſition, on ſeroit bien fondé à la croire imperméable au ſon. Si le poiſſon fuit quand on fait du bruit, il faut être bien aſſuré qu'il n'a pu appercevoir aucun mouvement qui l'ait déterminé à fuir ; & je ſais par moi-même que ce n'eſt point une choſe fort aiſée à décider, pour quelqu'un qui eſt en garde contre le préjugé (*a*).

LEÇON XI.

Boyle, Arthedi, Rondelet, &c.

(*a*) Voyez dans les *Mémoires préſentés à l'Académie Royale des Sciences, par les Savants*

XI. LEÇON.

Quoi qu'il en ſoit, ſi le poiſſon n'entend point les ſons qui viennent de l'air, l'empêchement ne vient pas de l'eau, puiſqu'elle les tranſmet; je ne regarde point non plus comme une raiſon qui établiſſe abſolument ſa ſurdité, un défaut d'oreilles ſemblables à celles des autres animaux : cet organe, dans le poiſſon, pourroit être tout autrement conſtitué qu'il ne l'eſt dans les animaux qui reſpirent l'air ; que ſait-on ſi ce ſens n'eſt point univerſel pour eux, comme le toucher l'eſt pour nous ? ce qui me fait hazarder ce ſoupçon, c'eſt qu'ayant plongé avec moi des corps ſonores, le bruit ou le ſon que j'ai fait naître dans l'eau, m'affectoit tout le corps par une certaine commotion très-ſenſible, ce qui vient ſans doute de la grande ſolidité des parties de l'eau. (*a*)

Par quelque milieu que le ſon ſe

Etrangers, tom. 2. p. 164. un Mémoire de M. Geoffroi, Docteur en Médecine de la Faculté de Paris, qui eſt le commencement d'un excellent travail ſur cette matiere.

(*a*) Voyez les expériences que j'ai faites *ſur la tranſmiſſion des ſons dans l'eau*, Mémoires de l'Académie des Sciences, 1743. p. 119.

transmette, il employe un temps qui est sensible, lors même que la distance est assez médiocre ; bien différent en cela de la lumiere, dont la propagation se fait dans un instant très-court à des distances fort grandes. Cette différence est un moyen commode, & dont on n'a pas manqué de faire usage pour mesurer la vîtesse du son. Car si l'on fait tirer un coup de canon ou une boîte à une distance connue, on peut prendre sans erreur sensible, l'éclat de lumiere qu'on apperçoit comme le signal du son naissant ; & l'on comptera, par le moyen d'un pendule à secondes, le temps qui s'écoulera jusqu'à ce qu'on l'entende ; ainsi le temps sera connu comme l'espace, ce qui donnera la vîtesse.

XI. LEÇON.

Cette expérience faite & répétée depuis long-temps par l'Académie del Cimento, par MM. Flamsteed, Halley, Derham, &c. avoit fait conclure la vîtesse du son, de 180 toises mesure de France par seconde ; mais il restoit encore quelque incertitude sur les résultats, soit parce qu'ils ne s'accordoient point parfaitement entr'eux, soit parce qu'on avoit employé

des distances trop peu considérables.

XI. LEÇON. En 1738, l'Académie des Sciences *, pour terminer avec précision une question qui peut être d'une application utile, soit pour la Géographie, soit pour la sûreté de la Navigation, chargea MM. de Thury, Maraldi, & l'Abbé de la Caille, de faire à cet égard les expériences nécessaires, & avec les précautions les plus convenables au sujet. Ces Académiciens firent leurs opérations sur une ligne de 14636 toises qui avoit pour termes la tour de Montlhery, & la pyramide de Montmartre ; & voici quels en furent les principaux résultats.

* *Mém. de l'Acad. des Scienc.* 1738. *p.* 128.

1°. Le son parcourt 173 toises mesure de Paris en une seconde de temps, de jour ou de nuit, par un temps serein ou par un temps pluvieux. Le mouvement de la lumiere n'a donc point de part à la propagation du son ; & les vapeurs mêlées avec les particules de l'air n'interrompent point le mouvement de vibration.

2°. S'il fait un vent dont la direction soit perpendiculaire à celle du son, celui-ci a la même vîtesse qu'il auroit par un temps calme.

3°. Mais si le vent ſouffle dans la même ligne que parcourt le ſon, il le retarde ou il l'accélere ſelon ſa propre vîteſſe; c'eſt-à-dire, qu'avec un vent favorable le ſon parcourt 173 toiſes par ſeconde, plus la vîteſſe du vent; & tout au contraire, ſi le vent eſt directement oppoſé. Et voilà pourquoi; lorſque le vent change de direction, & de vîteſſe, on entend du même lieu certaines cloches que l'on ne peut entendre dans d'autres temps. Ainſi connoiſſant la vîteſſe du ſon accélérée par le vent, on pourra eſtimer la vîteſſe propre du vent; car ôtant de la vîteſſe accélérée 173 toiſes par ſeconde pour celle du ſon, le reſte ſera celle du vent. XI. LEÇON.

4°. La vîteſſe du ſon eſt uniforme, c'eſt-à-dire, que dans des temps égaux & pris de ſuite, il parcourt toujours des eſpaces ſemblables.

5°. L'intenſité ou la force du ſon ne change rien à ſa vîteſſe: quoiqu'un ſon plus fort s'étende plus loin qu'un plus foible; celui-ci parcourt comme l'autre 173 toiſes par ſeconde.

Toutes ces connoiſſances, & les épreuves par leſquelles on les a acqui-

ſes, fourniſſent des moyens prompts & commodes, pour meſurer l'étendue des lieux où les opérations géométriques ne ſont point néceſſaires ou pratiquables, comme la largeur des lacs ou des rivieres à leur embouchure. Car puiſqu'après avoir apperçu la lumiere d'une arme à feu, chaque ſeconde de temps répond à une diſtance de 173 toiſes, c'eſt une choſe fort aiſée de ſavoir combien il s'eſt écoulé de ſecondes, juſqu'au moment où le bruit s'eſt fait entendre. Le même moyen peut être d'un grand ſecours dans un temps couvert, pour des vaiſſeaux qui craignent de ſe briſer contre les côtes ; car ſi au lieu d'un fallot, qui en pareil cas ne ſe voit pas de fort loin, on faiſoit tirer de temps en temps quelques boîtes ou quelques coups de canon, cette lumiere, qui eſt beaucoup plus active & plus perçante, indiqueroit bien mieux l'endroit que l'on doit aborder ou éviter, & le bruit qui ſuccéderoit, en marqueroit la diſtance à des navigateurs attentifs.

XI. LEÇON.

Nous avons dit ci-deſſus, que les corps ſont d'autant plus ſonores qu'ils

ont

ont plus de denſité, & en même temps plus de reſſort: il en eſt même de tous les milieux qui tranſmettent le ſon ; & comme l'air eſt celui de tous, qui nous eſt le plus familier, nous nous y arrêterons par préférence.

XI. LEÇON.

V. EXPERIENCE.

PREPARATION.

AB, *Fig.* 10, eſt une planche fort épaiſſe ſur laquelle ſont élevés deux piliers *C*, *D*, qui reçoivent par en haut une traverſe *E F*; cette derniere piece eſt aſſujettie par deux vis qui la font deſcendre autant qu'il eſt néceſſaire, pour preſſer fortement un récipient de verre fort épais. Ce vaiſſeau repoſe d'une part ſur des cuirs mouillés, & eſt fermé par en haut avec une platine de métal, garnie auſſi d'un cuir mouillé par deſſous, de ſorte que l'intérieur du récipient, lorſqu'il eſt ferré dans ſon chaſſis, ne communique qu'avec la pompe foulante *G*, par un petit canal où l'on a pratiqué un robinet. Cette pompe eſt tout-à-fait ſemblable à celle que nous avons décrite ci-deſſus * en parlant

* P. 258.

XI. LEÇON.

lant de la fontaine de compreſſion ; c'eſt-à-dire, qu'il y a au bout, immédiatement avant le robinet, une petite ſoupape qui permet que l'air ſorte de la pompe, mais non pas qu'il y retienne du récipient lorſqu'on releve le piſton : ainſi le robinet étant ouvert, on peut condenſer l'air dans le récipient, autour d'une ſonnette qui eſt ſuſpendue de maniere qu'on peut la faire ſonner en balançant un peu le chaſſis.

Comme l'air fortement condenſé fait un grand effort, c'eſt une ſage précaution à prendre que de revêtir le vaiſſeau d'une cage d'un gros fil de fer, afin que s'il vient à crever, les éclats ne cauſent aucun dommage.

Pour condenſer l'air en proportions connues, il faut enfermer dans le récipient, un petit ſiphon renverſé dont la branche la plus longue ſoit fermée, & qui contienne, à l'endroit de ſa courbure, un peu de mercure, ou de liqueur colorée, *Fig.* 11. car à meſure que l'air deviendra plus denſe, en preſſant par la branche la plus courte qui eſt ouverte, il forcera la liqueur de monter dans l'autre, &

condenſera l'air *ab* autant qu'il le ſera lui-même : ainſi quand cette petite colonne d'air ſera reſſerré dans un eſpace d'un tiers ou de moitié plus petite qu'auparavant, (ce qu'on appercevra par la graduation de la petite planche,) on jugera que l'air du récipient eſt condenſé d'un tiers, ou une fois davantage. XI. LEÇON.

EFFETS.

Quand l'air a été condenſé dans le récipient, le ſon que rend la ſonnette eſt ſenſiblement plus fort qu'il n'a coutume d'être, lorſque l'air eſt dans ſon état naturel ; car alors on l'entend de plus loin.

EXPLICATIONS.

Puiſque le ſon conſiſte eſſentiellement dans les vibrations de toutes les parties qui compoſent le corps ſonore, il doit y avoir plus de ſon partout où il ſe trouve plus de parties ſonnantes, & un reſſort plus actif : or ces deux choſes ſe rencontrent, lorſque l'air eſt plus condenſé : ſes parties ſont plus ſerrées ; il y en a un plus grand nombre dans un eſpace donné,

& le reſſort de chacune de ces parties eſt plus tendu ; l'air, en cet état, doit donc être plus ſonore que quand il eſt plus rare.

XI. LEÇON.

Hauxbée, auteur de cette expérience *, ne s'eſt point contenté d'apprendre en général que le ſon devient plus fort, lorſqu'on augmente la denſité & le reſſort de l'air ; il a porté ſes recherches juſques ſur les proportions de cet accroiſſement. Avant que de condenſer l'air, il a marqué la diſtance à laquelle on ceſſoit d'entendre la ſonnette enfermée dans le récipient : puis l'ayant condenſé une fois plus que dans ſon état ordinaire, il trouva que le ſon s'étendoit à une diſtance une fois plus grande ; & qu'après avoir triplé la denſité de l'air, on entendoit la ſonnette de trois fois plus loin, &c.

* *Tranſact. Phil. n.* 321.

Que falloit-il conclure de ces effets ? que le ſon augmente en raiſon directe de la denſité de l'air ? non, le rapport eſt plus grand ; car quand on entend la ſonnette à une diſtance double, il faut qu'à une diſtance de moitié moins grande, le même ſon ſoit quatre fois plus fort, & en voici la raiſon.

Le corps ſonore communique de toutes parts ſes vibrations à l'air qui l'environne : ſon action ſe propage donc par des rayons de ce fluide qui vont toujours en s'écartant les uns des autres comme ceux d'une ſphere ; & l'oreille qui écoute devient la baſe d'un cône d'air animé par le corps ſonore qui eſt au ſommet. *Voyez la Fig.* 22.

XI. LEÇON.

Or c'eſt une choſe connue de tous ceux qui ont quelques notions de Mathématiques, que le cercle dont le diametre eſt deux fois plus grand que celui d'un autre, renferme par ſa circonférence un eſpace qui a quatre fois plus d'étendue ; & pour exprimer cette proportion d'une maniere générale, les cercles ſont entr'eux comme les quarrés de leurs diametres, ainſi le cône *a b c*, a une baſe quatrefois plus étendue que *a d e*, qui eſt une fois plus court ; car *d e*, diametre de celui-ci, n'eſt que la moitié de *b c*, diametre de l'autre, & par conſéquent, ſi l'ouverture de l'oreille que l'on ſuppoſe circulaire, eſt d'un diametre égal à *d e*, lorſqu'elle eſt placée à la 1re. diſtance, elle reçoit quatre fois plus de rayons

XI. LEÇON.

sonores qu'elle n'en recevroit à la deuxieme distance.

Par la même raison, elle en recevroit 9 fois moins à la 3me, 16 fois moins à la 4me : & comme 16 est le quarré de 4, 9 le quarré de 3 . 4 le quarré de 2, on peut dire généralement que *le son décroît comme le quarré de la distance qui augmente.*

Mais puisqu'ayant doublé la densité & le ressort de l'air tout ensemble, on entend le son deux fois plus loin qu'auparavant ; qu'avec un air 3 fois plus dense, & 3 fois plus élastique, on l'entend à une distance 3 fois plus grande ; en suivant le principe que je viens d'expliquer, il faut que l'intensité du son soit, ou comme le quarré de la densité, ou comme le quarré de l'élasticité de l'air, ou bien comme le produit de l'une multipliée par l'autre. M. Zanotti * curieux de savoir laquelle de ces trois loix étoit celle de la nature, s'est enfin fixé à la troisieme, après des expériences autant ingénieuses que délicates, & dont il faut voir le détail dans ses ouvrages, ou dans les extraits qu'on en a faits.

* *De Bononiensi Scient. & Art. Instituto Commentarii, p. 176.*

APPLICATIONS.

XI. LEÇON.

IL suit de ces principes fondés sur l'expérience & sur le raisonnement, que les corps sonores doivent se faire entendre plus fortement par un temps froid que lorsqu'il fait fort chaud, puisqu'alors l'air est plus condensé, & qu'il a plus de ressort : mais cette augmentation de densité n'est point assez considérable apparemment pour avoir un effet sensible à l'égard des sons ; ou bien comme ces changements se font par degrés & lentement, ce qui en résulte pour l'augmentation, ou pour l'affoiblissement des sons, ne se fait point remarquer.

Tout le monde connoît l'effet des trompettes parlantes, ou *porte-voix* : le Chevalier Morland, & ceux qui se sont appliqués comme lui à perfectionner cet instrument, semblent n'avoir eu en vue que la direction des rayons sonores, & avoir rapporté à cette seule cause l'augmentation du son ; c'est pourquoi M. Hase veut qu'il soit composé de deux parties, dont une soit elliptique, & l'autre parabolique, *Fig.* 13. & qu'elles ayent un

XI. LEÇON. foyer commun en *b*, afin, dit-il, que les rayons partant de l'embouchure *a*, premier foyer de la portion elliptique, & étant réfléchis de tous les points *c*, *d*, *e*, *f*, &c. se croisent au foyer *b*, qui est commun à la portion parabolique, pour être ensuite réfléchis parallélement des points *h*, *i*, *k*, *l*, &c.

On ne peut nier assurément que cette forme ou quelqu'autre peut-être encore plus avantageuse, ne contribue beaucoup à augmenter le son dans la direction *a g*, ou suivant l'axe de l'instrument ; puisqu'il doit se trouver par ce moyen autant de mouvement dans la colonne d'air *i l m n*, qu'il y en auroit dans tout l'hémisphere, dont le centre seroit occupé par la bouche d'un homme qui parleroit sans porte-voix. Mais doit-on être satisfait de cette raison, quand on demande pourquoi à côté & derriere l'instrument, le son paroît encore si fort augmenté ? Comme la reflexion du son suit les mêmes loix que celle de la lumiere, supposons que le porte-voix de M. Hase soit poli intérieurement comme un miroir, & plaçons en *a* un point radieux comme une

une bougie ; que doit-il arriver ? la lumiere ſera condenſée, & il ſera certainement plus clair en *m n*, qu'il n'y ſeroit ſans le ſecours de l'inſtrument ; mais tous les environs, au lieu d'être plus éclairés, ſeront dans une grande obſcurité. Il y a donc, à l'égard du ſon, quelqu'autre choſe qu'un mouvement réfléchi en conſéquence de la figure du porte-voix.

XI. LEÇON.

Oui ſans doute, & l'on peut dire en général que le ſon augmente toutes les fois que le corps ſonore imprime ſon mouvement à un air qui eſt appuyé ; la voix ſe fait mieux entendre dans les rues d'une ville qu'en raſe campagne, & mieux encore dans une chambre cloſe que dans la rue : c'eſt que les particules d'air qui ont été plus fortement pliées, font des vibrations plus grandes ; & l'air, comme tout autre reſſort, ſe comprime d'autant plus, qu'il ſe déplace moins pendant que la puiſſance comprimante agit ſur lui.

Mais cette augmentation du ſon cauſée par l'immobilité de l'air, eſt encore plus ſenſible, quand c'eſt un corps dur qui arrête & qui ſoutient

XI. LEÇON.

les parties de ce fluide. Un Orateur se fait mieux entendre, quand il y a moins de monde pour l'écouter, & que le lieu où il parle n'est pas meublé ; car alors le son, au lieu de s'amortir, comme il fait en frappant des corps mols & sans réaction, revient sur lui-même, ou se porte d'un autre côté, suivant la maniere dont il est réfléchi. Voilà pourquoi le bruit du tonnerre, celui du canon ou d'un fusil, s'étend plus loin dans les vallées & le long des rivieres que dans le pays plat ; & que dans les aqueducs & dans les autres souterreins voûtés, la voix la plus forte se porte intelligiblement d'un bout à l'autre. C'est encore par la raison d'un air immobile, (d'ailleurs fortement comprimé, & appuyé contre des parois fort dures) qu'un homme enfermé dans l'eau sous la cloche du plongeur, pensa s'évanouir par l'étonnement que lui causa le son d'un cornet ou petit cor qu'il essaya d'emboucher. * On doit expliquer par le même principe ce qui surprend les curieux dans des édifices où la voix la plus basse se fait entendre d'un angle à l'autre, sans que les assistans

* *Sturm. Coll. Curios. T. I. Tentam. 4.*

qui ſont placés par-tout ailleurs, puiſſent entendre un mot de ce qu'on dit; car ces angles ſont ordinairement continués à la voûte, & ils contiennent une portion d'air qui ne ſe déplace point, & dans laquelle le ſon devient & ſe conſerve plus fort; & la figure de la voûte occaſionne des reflections telles qu'il les faut pour le tranſmettre.

XI. LEÇON.

Enfin quand la maſſe d'air qui reçoit le ſon, ſe trouve contenue par des parois qui étant dures, ſont encore minces & élaſtiques, au premier effet dont je viens de parler, il s'en joint un autre; non-ſeulement le ſon augmente en dedans, parce que l'air intérieur eſt ſolidement appuyé; mais ce même ſon augmenté ſe tranſmet auſſi à l'air extérieur, parce qu'il frappe un corps élaſtique & qu'il le met en jeu. Pour preuve de ceci, que l'on ſupprime, que l'on creve, ou qu'on lâche ſeulement l'une des peaux d'un tambour; en frappant ſur celle qui reſte, on n'en tirera pas autant de ſon qu'auparavant; d'où vient cette différence? c'eſt que l'air contenu dans la caiſſe n'a plus d'appui par en bas, au

XL LEÇON.

lieu que quand il eſt appuyé ſur une peau bien tendue, il reçoit plus de mouvement, parce qu'il réſiſte davantage; & il le communique au-dehors, parce qu'il repoſe ſur un corps élaſtique.

Maintenant on voit bien pourquoi le ſon augmente non ſeulement dans la direction du porte-voix, mais auſſi dans tous les environs; car cet inſtrument, comme on ſait, eſt fait de feuilles de métal fort minces, & par conſéquent très-propres à tranſmettre au-dehors le ſon qui augmente beaucoup au-dedans, parce que la maſſe d'air que la voix frappe, eſt contenue par des parois fort dures.

Ce que je dis du porte-voix peut s'entendre de tout autre inſtrument, même de ceux qui ſont à cordes: car pourquoi faut-il, par exemple, qu'un clavecin ou une baſſe de viole, ſoit une caiſſe de bois mince & élaſtique? c'eſt que ſans cela le ſon des cordes ſe communiqueroit à un air vague & ſans appui, qui échapperoit, pour ainſi dire, à leur choc, au lieu qu'elles agiſſent ſur une maſſe qui eſt comme forcée de recevoir d'elles un plus grand

mouvement, & qui le tranſmet au-delà lors par la réaction du bois. XI.

Le ſon comme tout autre mouvement change de direction, lorſqu'il rencontre des obſtacles qui ne l'abſorbent point: & alors il ſuit la loi commune; * l'angle de ſa réflection devient égal à celui de ſon incidence. LEÇON.

* Tome I. p. 289.

Le ſon réfléchi que l'on nomme communément *Echo*, ne ſe diſtingue point du ſon direct, c'eſt-à-dire, de celui qui vient immédiatement du corps ſonore: quand la réflection ſe fait de fort près, l'un & l'autre ſe confondent. Mais lorſqu'il y a une diſtance ſuffiſante, comme le ſon qui vient par réflection, fait plus de chemin que celui qui vient directement, il arrive plus tard à l'oreille, & y répete la premiere impreſſion. Suppoſons, par exemple, qu'une perſonne parle à voix haute, vis-à-vis d'un rocher *O*, éloigné de 173 toiſes, *Fig.* 14. elle s'entendra parler dans le même inſtant; mais le ſon qui ira frapper en *O*, & qui reviendra à elle par réflection, employera deux ſecondes de temps à cauſe du double trajet de 173 toiſes. Et parce que le ſon qui va plus

XI. LEÇON.

loin, met plus de temps pour aller & pour revenir, s'il y a des obstacles en P & en Q, qui réfléchissent les rayons sonores vers le même endroit, on y entendra successivement deux, trois ou quatre échos. C'est encore par cette raison, qu'étant placé en r, *Fig.* 12. on entend d'abord le son de la cloche a par le rayon a r, & ensuite l'écho de la même cloche par les rayons as, sr.

Les échos ne se trouvent point en rase campagne, mais très-communément dans les bois, dans les rochers, & dans les pays montagneux, parce que le son y rencontre bien fréquemment des obstacles qui le réfléchissent; on en a observé qui répétent un grand nombre de fois, comme celui de Wostock, qui répete distinctement 17 syllabes pendant le jour, & 20 pendant la nuit *: mais on a toujours observé en même temps que les dernieres répétitions sont plus foibles que les premieres, ce qui est une conséquence nécessaire; car les sons qui viennent les derniers, ont fait plus de chemin que les autres, & le son est un mouvement qui diminue comme le quarré de la distance qui augmente,

* *Rob. Plot: Hist. nat. de la Province d'Oxford en Angleterre.*

à moins que l'obſtacle qui réfléchit les rayons ſonores, ne ſoit d'une figure propre à diminuer leur divergence. XI. LEÇON.

Les échos deviennent quelquefois des phénomenes fort ſinguliers, par la rareté des circonſtances qui les font naître: à trois lieues de Verdun il y a deux groſſes tours éloignées l'une de l'autre de 36 toiſes, lorſqu'on parle un peu haut dans la ligne qui joint ces deux édifices, la voix ſe répete 12 ou 13 fois, toujours en s'affoibliſſant; les deux tours ſe renvoyent le ſon alternativement, comme deux miroirs qui ſe regardent, multiplient l'image d'une bougie placée entre eux: * on voit encore la deſcription d'un écho plus ſingulier dans les Mémoires de l'Académie, imprimés avant 1700. ** On trouve aſſez facilement la cauſe de tous ces effets, en étudiant avec un peu d'attention, la nature & la poſition des lieux, ou la figure de tout ce qui eſt élevé ſur le terrein.

* *Hiſt. de l'Acad. des Scienc.* 1710.

** *Tome X.* P. 187.

De l'Ouie, & de ſon Organe.

DANS le premier volume de cet ouvrage j'ai fait une digreſſion ſur les

XI. LEÇON.

sens, où j'ai traité seulement du toucher, du goût & de l'odorat; on a dû voir par ce que j'en ai dit, que ces trois premiers sens ne nous mettent en commerce qu'avec les objets qui agissent immédiatement sur nous, soit par eux mêmes, soit par leurs émanations. Mais à quoi en serions-nous réduits, s'il n'y avoit rien de sensible pour nous, que par des actions immédiates; si nous n'appercevions une bête féroce ou venimeuse, que par sa morsure, une pierre qui menace notre vie, que quand elle commence à nous écraser? Quel tableau seroit-ce que celui du monde, si tous les hommes ressembloient à ces créatures imparfaites, qu'une surdité ou un aveuglement de naissance met hors d'état de participer à la plûpart des idées communes (*a*), & qui seroient plus malheureuses encore, si plus favorablement traités par la nature, nous n'étions capables d'adoucir un peu la rigueur de leur sort. Par le secours de l'ouie & de la vue

(*a*) Voyez l'histoire d'un sourd & muet de naissance qui commence à entendre & à parler à l'âge de 24 ans. *Hist. de l'Académie des Sciences*, 1703. *p.* 18.

Fig. 12.

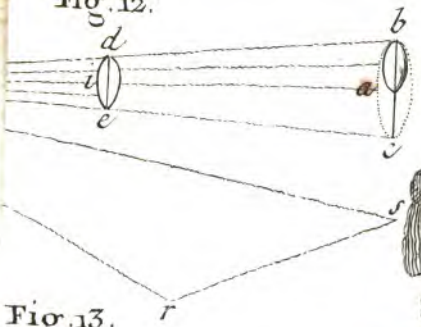


Fig. 13.

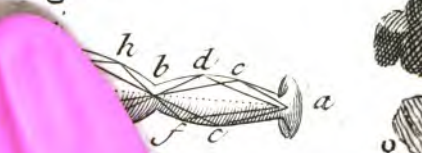


Fig. 14. P

nous sortons, pour ainsi dire, de nous-même; nous allons au-devant des objets; nous les jugeons de loin; & sur le rapport de ces deux sens, le desir ou la crainte nous fait prendre & les moyens & les précautions nécessaires à notre bien-être.

On auroit peine à dire ce qui nous est le plus nécessaire, ou de la vue ou de l'ouie. C'est ordinairement en supposant la privation de l'une ou de l'autre, que l'on essaye d'en juger; mais bien souvent cette comparaison manque de justesse & conduit à un faux jugement, parce qu'on ne met pas les circonstances égales de part & d'autre. Il y a une grande différence à faire d'un aveugle ou d'un sourd de naissance, à celui qui a vu ou entendu jusqu'à un certain âge, & qu'un accident a privé de l'un de ces deux sens; je n'ai point assez médité sur les regrets d'un homme qui sait qu'on peut voir, & qui n'a jamais vu, pour les comparer à ceux d'un autre homme qui sait qu'on peut entendre, & qui n'a jamais entendu; j'ignore quelle est leur peine, & de quel côté il y en a davantage; mais à présent que

XI. LEÇON.

je ſens combien il eſt difficile de faire naître des idées à quelqu'un qui n'entend point, & de combien de connoiſſances divines & humaines eſt privé un homme qui n'a pu avoir aucune éducation, j'aimerois mieux être né aveugle que ſourd. Je choiſirois tout différemment, ſi connoiſſant l'écriture, & les autres ſignes communs à la ſociété, il me falloit opter entre l'ouie & la vue; de ces deux biens le dernier me toucheroit davantage.

Cependant, dit-on, toutes choſes égales d'ailleurs, un ſourd eſt toujours plus triſte qu'un aveugle.

Si vous appellez triſteſſe, un air abſent & étranger à la converſation, vous avez raiſon; il n'y prend aucune part: mais en eſt-il plus affligé qu'un aveugle devant qui l'on diſpute de la beauté d'une étoffe? je ne le crois pas; à moins qu'il ne s'imagine qu'on parle de lui, ou de ce qui l'intéreſſe; & alors ce n'eſt plus ſimplement à un aveugle devant qui l'on diſpute d'une étoffe, qu'il le faut comparer; mais à un aveugle à qui il importe de ſavoir ſi cette étoffe eſt belle ou laide: je veux dire que les regrets de l'un & de

l'autre ſont égaux, quand l'intérêt eſt égal de part & d'autre ; mais je penſe que l'aveugle a plus d'occaſions de regretter, parce qu'on ne ſupplée point à la vue, ni auſſi facilement, ni auſſi parfaitement qu'à l'ouie. On a vu des gens qui étant devenus ſourds à un certain âge, s'étoient fait une habitude d'entendre au ſeul mouvement des levres, tout ce qu'on leur diſoit, & même de converſer ainſi avec d'autres ſourds. *

XI. LEÇON.

* *Mém. de Trév. Septemb. 1701. p. 9. Tranſact. Philoſph. n. 313.*

Au reſte pourquoi chercher quel eſt le plus avantageux de deux biens qui le ſont peut être également ? il ſemble que la nature l'ait décidé ainſi, puiſque ne faiſant jamais rien de ſuperflu, elle a pourtant jugé à propos de nous donner deux oreilles, comme elle nous a donné deux yeux.

L'ouie a pour objet le bruit & le ſon, dont nous avons parlé précédemment ; la différence qu'il y a entre l'un & l'autre, c'eſt que le premier eſt un trémouſſement irrégulier, ou peut-être un aſſemblage de pluſieurs ſons qui font enſemble ſur l'organe une impreſſion confuſe, au lieu que le ſon proprement dit conſiſte

XI. LEÇON.

dans des vibrations régulieres, homogenes, & qui se font sentir plus distinctement ; peut-être même les sons n'affectent-ils qu'une certaine partie de l'organe, & que le bruit les ébranle toutes en même temps.

L'oreille est l'organe de l'ouie ; c'est par cette partie qui paroît extérieurement en forme d'entonnoir aux deux côtés de la tête, que le son s'introduit, pour aller toucher les fibres nerveuses, où s'accomplit la sensation. Je n'entreprendrai point une description anatomique & complette de cet organe : c'est aux gens de l'art à entrer dans ce détail, qui seroit peut-être déplacé ici ; le lecteur qui en jugera autrement, trouvera bon que je le renvoye aux ouvrages qui ont été faits exprès sur cette matiere ; & nommément à celui de M. le Cat *, qui a comparé les desseins des plus grands Maîtres avec ses propres observations. Je me contenterai donc de nommer succinctement les principales parties que la nature employe pour faire sentir les sons, & de les indiquer par des figures gravées d'après les meilleurs Anatomistes ; car mon

* *Traité des Sens, p. 275. Traité de l'Oreille, de M. du Verney.*

deſſein ſe borne à faire comprendre ſeulement, par quelle méchanique nous entendons les ſons.

A B, *Fig.* 16, repréſente la partie extérieure de l'oreille, dont le fond qui eſt vers *C*, s'appelle *la Conque*. *CD* eſt le *conduit auditif* vu extérieurement; c'eſt un canal qui part de la Conque, & qui aboutit au *Timpan E*; cette membrane mince qui ſe préſente obliquement, n'eſt pas tout-à-fait plane, mais un peu concave du côté du conduit auditif; immédiatement après, en avançant vers l'oreille interne, ſont quatre oſſelets qu'on appelle, à cauſe de leur figure, *l'Os orbiculaire* 1, *l'Etrier* 2, *l'Enclume* 3 & *le Marteau*: une partie de celui-ci que l'on a nommée *le Manche* 4, aboutit au centre du timpan, & ſert à le tendre plus ou moins; la premiere cavité qui eſt ſous cette membrane, ſe nomme *la Caiſſe du Tambour*; elle eſt pleine d'air, & communique avec la bouche par un canal *Ff* qui ſe nomme *la Trompe d'Euſtache*; de ſorte que l'air du tambour communiquant toujours avec l'air extérieur, fait équilibre à celui qui remplit le conduit au-

ditif ; à la caiſſe du tambour répond une autre partie de l'oreille, qu'on nomme *Labyrinthe*, compoſé du *veſtibule G*, des trois canaux ſémi-circulaires *H*, *I*, *K*, & du *limaçon L*, que je vais décrire ſéparément.

XI. LEÇON.

Le limaçon eſt un cône un peu écraſé, *Fig.* 17. enveloppé d'un conduit qui, comme un pas de vis, fait à-peu-près deux ſpires & demie, *Fig.* 18.

Ce conduit qui va toujours en s'étréciſſant, eſt diviſé dans toute ſa longueur par une cloiſon membraneuſe dont les fibres tendent à l'axe du cône qui lui ſert de noyau, *Fig.* 19. C'eſt cette partie qu'on nomme *Lame ſpirale*, & qui va toujours en s'étréciſſant comme le conduit qu'elle partage, depuis la baſe du cône juſqu'à la pointe. Ainſi, les fibres qui compoſent ſa largeur, deviennent toujours de plus en plus courtes, en approchant du ſommet du cône.

Le conduit ſpiral partagé en deux par la cloiſon dont je viens de parler, a néceſſairement deux orifices *M*, *N*, dont un aboutit au veſtibule du labyrinthe, & l'autre à la caiſſe du tambour.

Enfin le nerf auditif *O* se divise en plusieurs branches qui passent dans le vestibule, & se subdivisent en une infinité de petites fibres qui se distribuent à toutes les parties du labyrinthe : voilà à-peu-près quelle est la structure de l'oreille ; en voici maintenant les fonctions. XI. LEÇON.

La conque, parce qu'elle est évasée presque en forme d'entonnoir, reçoit les rayons sonores en plus grande quantité, & leur action se transmet par le conduit auditif jusqu'à la membrane du tambour où se fait la première impression. Si cette membrane est lâche, les sons foibles s'y amortissent, & ne passent pas outre ; ou bien, s'ils passent, leur impression est si peu sensible, que l'ame n'y fait point attention. Voilà pourquoi, lorsque nous sommes occupés d'ailleurs, il peut se faire auprès de nous des petits bruits ou des sons médiocres qui nous échappent. Mais si le timpan est bien tendu, (& c'est ce qui arrive quand on écoute,) le moindre son se communique par cette membrane élastique à la masse d'air qui est dans la caisse du tambour ; &

XI. LEÇON.

de cet air il passe à celui qui est dans le labyrinthe, dont toutes les parties sont revêtues des petites fibres du nerf auditif.

Un trop grand bruit fatigue l'oreille & va quelquefois jusqu'à rendre sourdes pour un temps, & même pour toujours, les personnes qui s'y sont exposées: c'est qu'une impression trop forte sur cet organe, comme sur les autres, engourdit les parties qui sont délicates, ou en dérange l'économie. Après un grand bruit, les sons foibles sont à l'oreille, ce qu'est à l'œil une petite lumiere après une grande illumination.

Tout le monde sait, & les enfants mêmes n'ignorent pas qu'on entend le son bien plus fortement, quand on tient le corps sonore dans les dents, ou qu'on a la bouche ouverte dessus; c'est qu'alors les vibrations se communiquent à l'air du tambour par la trompe d'Eustache; & cette action, qui est comme immédiate, doit se faire sentir bien plus fortement que celle qui se transmet par le timpan: c'est un moyen de mieux entendre, que l'on voit assez souvent mettre

tre en uſage par les gens qui ont l'ouie un peu dure ; ils ouvrent la bouche quand ils écoutent avec beaucoup d'attention. (*a*)

XI. LEÇON.

Il ſuit de cette obſervation, que la membrane du tambour, ou le timpan, n'eſt point une partie eſſentiellement néceſſaire pour la perception des ſons, puiſqu'ils pourroient ſe tranſmettre immédiatement à l'air qui eſt dans la caiſſe ; & l'expérience a prouvé que cette conſéquence eſt juſte ; car des chiens à qui l'on avoit ôté cette membrane, ne devinrent point ſourds, auſſi tôt après cette opération * ; mais l'expérience même a fait voir que ſans cette eſpece de barriere, les autres parties ne peuvent ſe conſerver long-temps, puiſque ces animaux, quelques ſemaines après, n'entendoient plus, comme auparavant, la voix de ceux qui les appelloient.

* *Willis, de l'ame des Bêtes, c. 14.*

(*a*) Ce que j'ai dit dans cet article, je l'ai dit d'après le plus grand nombre des Phyſiciens qui ont écrit ſur cette matiere ; néanmoins il me paroît maintenant que, pour entendre par la bouche, il ne ſuffit pas de l'ouvrir ſur le corps ſonore, mais qu'il faut appuyer les dents deſſus ou au moins les lévres.

XI. LEÇON.

On eſt parfaitement d'accord ſur l'exiſtence du timpan, ſur la place qu'il occupe, & même ſur ſes fonctions ; mais on ne l'eſt pas de même, quand il s'agit de ſavoir, ſi cette eſpece de diaphragme ferme abſolument le conduit auditif, ou s'il peut s'ouvrir ſans ſortir de ſon [redacted] naturel ; les uns * tiennent pour cette derniere opinion & citent l'expérience de certaines gens qui font ſortir par leurs oreilles la fumée du tabac qu'ils ont retenue dans leur bouche ; les autres ſoutiennent le contraire, & s'appuyent ſur l'expérience d'un habile Anatomiſte *, qui ayant rempli de mercure l'oreille d'un ſujet mort, ne put jamais faire paſſer ce minéral de la caiſſe du tambour dans le conduit auditif. L'expérience des fumeurs doit-elle être regardée comme un effet contre nature, auquel cas elle ne prouveroit rien ? ou bien la mort donne-telle au timpan une adhérence invincible qu'il n'auroit pas dans le ſujet vivant, ce qui rendroit l'expérience faite avec le mercure auſſi peu concluante ? Tout l'embarras de cette déciſion ceſſe, quand on ſait

* *Dionis demonſt. anatom. 8.*

* *Valſave, de aure humana, c. 2, §. 8.*

que la fumée ne passe point, comme on le dit, par l'oreille; & que ce prétendu fait n'est au fond qu'un supercherie, par laquelle certaines gens en imposent à ceux qui sont assez crédules pour se rendre aux premieres apparences, ou trop peu instruits pour les approfondir, comme je l'ai appris d'un de nos Anatomistes * dont les lumieres & la candeur sont très-connues, & qui m'a dit s'en être assuré par l'aveu même de plusieurs soldats des Invalides qui s'étoient vantés de rendre la fumée par les oreilles.

XI. Leçon.

* *M. Marand, de l'Acad. des Scienc. & chargé par la comp. de vérifier le fait.*

Comme la propagation des sons se fait selon les mêmes loix que celles de la lumiere, on peut rassembler les rayons sonores, & les condenser comme ceux qui viennent d'un objet lumineux. Que l'on fasse donc un cornet de figure parabolique, *Fig.* 20. au fond duquel aboutisse un petit canal, dont on placera le bout dans la conque de l'oreille; alors tous les rayons paralleles, comme *a b*, *c d*, seront rassemblés en *f*, foyer de la parabole, & augmenteront considérablement la force du son dans le conduit auditif. Mais comme ces instruments acous-

XI. LEÇON.

tiques ne doivent avoir d'autre effet que de renvoyer le ſon à l'oreille de celui qui s'en ſert, il faut empêcher qu'ils ne le tranſmettent autour d'eux comme le porte-voix ; c'eſt pourquoi je voudrois qu'on les fît de métal bien poli, afin que par leur dureté & par la régularité de leur ſurface, la réflection des rayons fût plus complette, mais qu'on amortît leur reſſort, en les couvrant par-dehors avec une peau de chagrin, ou avec quelque choſe d'équivalent.

* *Traité des Sens, p. 291.*

M. Le Cat *, frappé de ce que la nature a pratiqué dans l'organe de l'ouie pluſieurs cavités remplies d'air, a imaginé, pour aider les perſonnes qui ont de la peine à entendre, un double cornet qui eſt repréſenté par la *Fig.* 21, & dont l'ouverture *CD* peut avoir 2 pouces $\frac{1}{2}$ ou trois pouces de diametre. Dans l'opinion où je ſuis que l'augmentation du ſon, par ces ſortes d'inſtruments, vient autant de l'immobilité de l'air, que d'une réflection bien ménagée des rayons ſonores, je penſerois volontiers qu'on pourroit tirer avantage de cette nouvelle invention qui n'a point encore été éprouvée.

Des Sons comparés.

XI. LEÇON.

CE que j'ai dit précédemment touchant la nature du ſon en général, doit faire comprendre que les corps ſonores ſont capables d'exciter en nous différentes ſenſations ; non-ſeulement parce qu'étant plus denſes ou plus élaſtiques les uns que les autres, ils peuvent agir plus puiſſamment ou plus long-temps ; mais encore, parce que leur reſſort étant plus ou moins tendu, doit être ſuſceptible de vibrations plus ou moins fréquentes : & en effet, tout le monde s'apperçoit que le ſon d'une cloche & celui d'une ſonnette, différent beaucoup entr'eux : & pour le peu qu'on y faſſe attention, on reconnoît aiſément qu'il y a dans cette différence quelque choſe de plus que le degré de force ; car quand on ſeroit fort près de la ſonnette, & très-éloigné de la cloche, l'organe ſeroit encore affecté d'une maniere bien différente par ces deux ſons. Il en eſt de même d'une corde quand on prendroit ſoin de la pincer toujours également fort,

XI. LEÇON.

si elle est plus ou moins tendue, le son change, & l'on n'apperçoit d'autre cause de cet effet, qu'une roideur plus ou moins grande dans les parties, d'où il doit résulter un frémissement plus ou moins prompt.

Ce sont ces différentes nuances de son, qui procèdent de la fréquence plus ou moins grande des vibrations dans les parties du corps sonore, que l'on appelle *Tons*, & dont la combinaison harmonieuse fait l'objet de la musique, de cet art merveilleux qui a tant de pouvoir sur l'ame & dont tant de personnes sont occupées aujourd'hui, soit par goût, soit par profession.

On distingue tous les tons en *graves* & en *aigus*: on appelle grave celui d'un corps sonore, dont les parties frémissent beaucoup plus lentement que celles d'un autre, à qui on les compare, ou (ce qui est la même chose) qui, dans un certain temps, fait bien moins de vibrations que lui. On voit par cette définition, que le ton n'est grave ou aigu que par comparaison à un autre ton; & que l'une ou l'autre de ces deux qualités peut varier au-

tant qu'il peut y avoir de différences entre les nombres de vibrations que les corps sonores peuvent faire dans un temps donné. XI. LEÇON.

Mais quoique les tons puissent varier presque à l'infini, eu égard à la comparaison des nombres, leurs différences se renferment dans des bornes beaucoup plus étroites, si l'on s'en tient au sensible; car l'oreille la plus délicate ne distingue ces nuances, que quand il y a un intervalle assez considérable entre les nombres qui les produisent. Par exemple, si l'on tend une corde de clavecin, de maniere qu'elle fasse 200 vibrations dans une seconde, elle aura un certain ton: si elle se trouve ensuite un peu plus tendue, & que dans un pareil temps elle fasse 201, 202, ou 203 vibrations, elle aura sûrement un ton plus aigu physiquement, mais non pas sensiblement, parce que le nombre des vibrations qu'elle fait en dernier lieu, n'est point assez différent du nombre de celles qu'elle fait d'abord.

Lors donc que l'on touche deux corps sonores ensemble, comme deux cordes de clavecin ou de vielle,

XI. LEÇON.

leurs vibrations ont néceſſairement un certain rapport de nombres entr'elles, de ſorte qu'après un certain période, les deux cordes recommencent en même temps; & c'eſt cette eſpece de réunion périodique, que l'on nomme *accord* ou *conſonance*.

Les accords ſont d'autant plus parfaits, que les vibrations rentrent ou ſe réuniſſent plus ſouvent, ou que leurs nombres, pour chaque temps, différent moins entr'eux. On appelle *uniſſon*, l'accord de deux cordes dont les vibrations ſe font une pour une; celle des deux qui fait deux vibrations contre un, donne l'*octave* au-deſſus; ſi elle en fait trois contre deux, elle donne *la quinte*; quatre contre trois, *la quarte*; cinq contre quatre, *la tierce majeure*; ſix contre cinq, *la tierce mineure*.

Mais, comme on voit, tous ces accords d'une corde avec l'autre, n'ont rien d'abſolu; le ton que je nomme octave, quinte, &c. deviendroit tout d'un coup toute autre choſe, ſi je changeois le ton de l'autre corde, qui me ſert d'objet de comparaiſon. Il en eſt de même du ſon que

que je nomme grave ou aigu ; il change de dénomination ſans changer de nature, toutes les fois que le ſon auquel je le compare vient à changer. XI. LEÇON.

C'eſt un inconvénient conſidérable en muſique de n'avoir pas un ton fixe & invariable, que l'on puiſſe toujours retrouver, & auquel on rapporteroit tous les autres. Cette eſpece de ſifflet dont on ſe ſert pour déterminer le ton des voix & des inſtruments dans un concert, ou ces flûtes que l'on dit être au ton de l'Opéra, ne ſont point des moyens sûrs pour éviter toute variation : l'expérience fait voir que tous les inſtruments de cette eſpece, comme les autres, ne gardent pas conſtamment leur état ; mais quand ils pourroient le garder, s'ils viennent à ſe perdre ou à ſe caſſer, comment retrouver le véritable ton ?

De tous les Phyſiciens, qui ſe ſont propoſés de procurer à la muſique ce ton fixe tant déſiré, perſonne que je ſache n'a travaillé avec plus de zele & plus de ſuccès que M. Sauveur ; quoiqu'à dire vrai, les moyens qu'il a imaginés ne me paroiſſent point encore marqués au coin de cette ſim-

XI. LEÇON.

plicité qui annonce une invention de pratique. C'eſt dans ſes propres écrits ou dans les extraits qu'on en a faits *, qu'il faut voir quelles ont été ſes recherches à ce ſujet, & juſqu'à quel point il a réuſſi. Je me contenterai de dire ici que cet ingénieux & ſavant Académicien, pour déterminer & fixer un ſon au-deſſous duquel on prit la ſuite des tons graves, & au-deſſus, celle des tons aigus, mit à profit une remarque qu'il fit, & qu'une oreille un peu attentive peut faire, en entendant accorder deux tuyaux d'orgues. La rentrée ou la réunion de leurs vibrations ſe fait ſentir par un ſon plus fort; & le temps qui ſe paſſe d'une réunion à l'autre eſt quelquefois aſſez ſenſible pour être meſuré. On ſait, par la nature des accords, combien il faut qu'un des deux tuyaux faſſe de vibrations dans le même temps que l'autre en fait un certain nombre; que de deux tuyaux accordés à l'octave, par exemple, l'un fait deux vibrations pendant que l'autre en fait une ſeulement. Si l'intervalle d'une rentrée à l'autre étoit aſſez ſenſible, on pourroit donc ſavoir combien de temps

* *Hiſt. de l'Acad. des Scienc.* 1700. p. 134.

employent celui-ci pour faire deux, celui-là pour faire une vibration. Ainſi le temps pendant lequel ſe font les vibrations d'un certain ton étant déterminé par l'expérience, & le nombre des vibrations qui font les autres tons pendant le même-temps, étant connu d'ailleurs, M. Sauveur prend pour le ſon fixe, celui qui fait 100 vibrations en une ſeconde; & il appelle *octave fixe-aigue*, celle qui eſt au-deſſus, c'eſt-à-dire, le ſon qui fait 200 vibrations en une ſeconde; & *octave-fixe-grave*, celle qui eſt au-deſſous, ou le ſon qui fait 50 vibrations en une ſeconde.

XI. LEÇON.

M. Sauveur ayant trouvé par expérience, qu'un tuyau d'orgues d'environ cinq pieds ouvert, rendoit ce ſon fixe dont je viens de parler, compara cette longueur à celles de deux autres tuyaux dont l'un rendoit le ſon le plus grave, & l'autre le ſon le plus aigu que l'oreille humaine pût diſtinguer; & ayant examiné, par la comparaiſon de leurs dimenſions, combien chacun pouvoit faire de vibrations dans le temps d'une ſeconde, il trouva que le ſon le plus grave que nous puiſſions diſtinguer vient d'un

XI. LEÇON.

corps sonore qui fait 12 vibrations $\frac{1}{2}$ par seconde, & que le son le plus aigu fait en pareil temps 6400 vibrations ; & comme 12 $\frac{1}{2}$ est à 6400 à-peu-près dans le rapport de 1 à 512, on peut conclure que l'oreille est susceptible de 512 degrés de sensations.

Si l'on a une fois un ton fixe par le moyen des tuyaux d'orgues, on peut l'avoir pour toutes sortes d'instruments ; car une corde de viole, une flûte, un haut-bois, &c. peuvent se mettre à l'unisson avec le tuyau qui donnera le ton fixe.

La grandeur des vibrations ne fait rien au ton : quand le corps sonore vient d'être touché, elles sont d'abord plus étendues, & le son en est plus fort ; mais quoiqu'ensuite elles deviennent plus petites, & que le son s'affoiblisse en conséquence, le ton subsiste le même jusqu'à la fin, parce que les vibrations, quoique moins grandes à la fin qu'au commencement, sont toujours de la même durée : c'est la propriété des corps à ressort. Ceci ne doit pourtant s'entendre que du son principal, de celui que toute oreille entend, dès que

le corps ſonore a été frappé ; car lorſqu'on y fait plus d'attention, & à meſure que le ſon principal s'affoiblit, on diſtingue aſſez ſouvent d'autres tons, dont nous eſſayerons de rendre raiſon ci-après. XI. LEÇON.

Une corde fait des vibrations d'autant plus fréquentes, & par conſéquent rend un ſon d'autant plus aigu, qu'elle eſt plus courte, ou moins groſſe, ou plus tendue. Si l'on veut donc en accorder deux qui ſoient de même matiere, il faut avoir égard à ces trois choſes, à leurs longueurs, à leurs groſſeurs, & à leurs degrés de tenſion.

1°. Si deux cordes également longues & groſſes ne différent que par le degré de tenſion, leurs vibrations, quant au nombre, ſont comme les racines quarrées des puiſſances ou des forces qui les tiennent tendues;

C'eſt-à-dire, que ſi elles étoient tirées par des poids, & que l'une des deux le fût par un poids d'une livre, & l'autre par un poids de 4 livres; comme la racine quarrée de 4 eſt 2, & que celle d'1 eſt 1; les vibrations de ces deux cordes, quant au nombre, ſeroient dans le rapport de 2 à 1 : &,

XI. LEÇON.

ſuivant les mêmes principes, les vibrations ſeroient dans le rapport de 3 à 2, ſi les poids qui tendent les cordes étoient, l'un de 9, & l'autre de 4 livres: parce que la racine quarrée de 9 eſt 3, & que celle de 4 eſt 2.

2°. Si les cordes également groſſes, également tendues, ne différent qu'en longueur, le nombre de leurs vibrations en temps égaux, eſt en raiſon inverſe de leur longueur;

C'eſt-à-dire, que celle qui eſt une fois plus courte, fait une fois plus de vibrations que l'autre, & que celle qui eſt comme 2 à 3 par rapport à l'autre, fait 3 vibrations contre 2, &c.

3°. Si les cordes ne différent qu'en groſſeur, elles font des vibrations dont les nombres ſont en raiſon réciproque des diametres; (*a*)

C'eſt-à-dire, que ſi l'une des deux eſt une fois plus groſſe, elle fait une fois moins de vibrations que l'autre, dans un temps donné. Si les diametres ſont entr'eux comme 3 & 2, la plus groſſe

(*a*) Ceci ne doit s'entendre que des effets ſenſibles, & non pas ſelon la rigueur mathématique: voyez-en les raiſons, *Mém. de l'Ac. des Sc.* 1709. *p.* 47 *& ſuiv.*

des deux ne fait que 2 vibrations contre 3, &c.

VI. EXPERIENCE.

PREPARATION.

LA *Fig.* 22. repréſente un inſtrument qu'on peut nommer *Sonometre*, parce qu'il ſert à meſurer & à comparer les ſons. C'eſt une caiſſe longue montée ſur un pied qui eſt compoſé de deux montants & d'une traverſe; la table qui eſt de ſapin peut avoir trois pieds de longueur ſur 4 pouces de largeur; & elle eſt percée de trois roſettes à-peu-près ſemblables à celle d'une guitarre ou d'un tambourin. A l'une des deux extrémités ſont deux leviers angulaires, qui reſſemblent à ceux dont on ſe ſert pour les ſonnettes dans les appartements, & dont les bras forment un angle droit. Aux bras de ces leviers ſont attachés d'une part deux poids *A*, *B*, que l'on peut changer; & de l'autre, deux cordes de violon que l'on tend avec les chevilles, *C*, *D*, qui ſont à l'autre bout de la caiſſe. Ces deux cordes paſſent ſur deux chevalets fixes *E*, *F*, qu'elles

XI. LEÇON.

touchent à peine, & ſur leſquels, lorſqu'elles ſont tendues, on les arrête, par le moyen d'une vis qui pouſſe deſſus une petite piece de bois. Il y a encore un autre chevalet *G*, qui gliſſe dans une couliſſe d'un bout à l'autre de la caiſſe, dont le bord eſt diviſé en pouces & en lignes; de ſorte qu'en appuyant un peu le bout du doigt ſur une des deux cordes, on peut la mettre en tel rapport de longueur que l'on veut avec l'autre, ſans changer ſenſiblement ſon degré de tenſion. Quand on veut tendre les cordes dans des proportions connues, on attache des poids dont on ſait la valeur, en *A* & en *B*, & l'on tourne les chevilles *C*, *D*, juſqu'à ce que les bras des leviers faſſent des angles droits, tant avec les cordes ſonores, qu'avec celles qui ſuſpendent les poids.

EFFETS.

1°. Les deux cordes étant de même groſſeur, & tendues avec des poids ſemblables, donnent l'uniſſon lorſqu'elles ſont également longues; l'octave, quand l'une des deux eſt moitié plus courte que l'autre; la

quinte, quand elles ſont l'une d'un tiers plus courte que l'autre.

XI. LEÇON.

2°. Les deux cordes étant de la même longueur & de la même groſſeur, s'accordent à l'octave, quand l'une eſt tendue par un poids d'une livre, & l'autre par un poids de 4 livres: elles s'accordent à la quinte, quand les deux poids qui les tiennent tendues, ſont l'un de 4 & l'autre de 9 livres.

3°. Les deux cordes étant également longues, & tendues par des poids égaux, ſont d'accord à l'octave, quand l'une eſt une fois plus groſſe que l'autre; à la quinte, quand le diametre de l'une eſt à celui de l'autre comme 3 à 2.

EXPLICATIONS.

On ſait par tout ce qui a été dit précédemment, que les tons dépendent d'un certain nombre de vibrations que fait le corps ſonore, dans un temps déterminé, & que les accords ne ſont autre choſe que les différents rapports de ces nombres entr'eux. Ainſi, puiſque je ſais que l'octave doit s'entendre, toutes les

XI. LEÇON.

fois qu'il y a deux vibrations contre une : la quinte, quand il y en a 3 contre 2, &c. je puis donc, en toute sûreté, conclure ces rapports de nombres, par les accords que j'entends ; ainſi quand les deux cordes de mon ſonometre ſont à l'uniſſon, quelle que puiſſe être alors la longueur, groſſeur, ou tenſion de chacune, il eſt certain que leurs vibrations ſont iſochrones, c'eſt-à-dire, qu'elles en font une pour une, ou un même nombre en même temps : & de même, quand elles ſont d'accord à l'octave, ou à la quinte, &c. je puis dire : c'eſt que les vibrations qu'elles font dans un temps donné, ſont dans le rapport de 1 à 2, de 3 à 2, &c.

Or, on a vu, par les réſultats précédents, qu'en réglant la longueur, la groſſeur, & le degré de tenſion des cordes, comme nous avions dit * qu'il falloit faire, pour avoir certains rapports dans les nombres des vibrations, il en réſulte des accords qui dépendent eſſentiellement de ces proportions, & qui ne vont point ſans elles. Il eſt donc évidemment prouvé par notre expérience, que les vibra-

* Page 463 & 464.

tions ſont, comme nous l'avons dit, d'autant plus promptes, que la corde ſonore eſt plus courte, plus menue ou plus tendue & que leur fréquence ſuit les rapports que nous avons établis.

Ce que dit l'expérience à cet égard ſe trouve parfaitement d'accord avec le raiſonnement. Car puiſque tous les corps à reſſort ont des vibrations d'autant plus promptes, que leurs parties ſont plus roides, une corde qui eſt plus tendue, & dont les parties ſont plus tirées, doit faire des vibrations plus promptes, & rendre par conſéquent un ſon plus aigu : & au contraire, celle qui l'eſt moins, & dont les parties ſont plus lâches, doit avoir des vibrations moins fréquentes, ce qui lui donne un ſon plus grave. Or une corde eſt moins tendue qu'une autre, quoiqu'elle ſoit tirée par un même degré de force, ſi elle eſt plus longue ou plus groſſe, parce qu'alors cette force qui la tend agit ſur un plus grand nombre de parties, qui partagent ſon effort ; & par conſéquent chacune d'elles, conſidérée comme un petit reſſort ſe trouve moins tendue

XI LEÇON.

qu'elle ne le ſeroit, ſi elle faiſoit partie d'une corde, ou plus fine ou plus courte.

APPLICATIONS.

L'EXPERIENCE précédente nous apprend pourquoi dans tous les inſtruments de muſique, la partie ſonore, c'eſt-à-dire, celle qu'on touche pour exciter les ſons, eſt toujours diſpoſée de maniere qu'on en peut changer facilement ou les dimenſions, ou le degré de tenſion. Car c'eſt par ces deux moyens qu'ils ſont propres à exprimer la compoſition du Muſicien. Les chanterelles d'une vielle, par exemple, montées à l'uniſſon, figurent les airs, parce que les touches que l'on pouſſe les accourciſſent plus ou moins pour former les tons. Au violon, ce ſont les doigts qui font l'office de touches en ſerrant les cordes ſur les diviſions du manche. Au clavecin, où chaque corde eſt fixée à un ſeul ton, l'étendue du jeu vient d'un plus grand nombre de cordes, & de leurs différentes longueurs & groſſeurs.

Dans un inſtrument à vent, c'eſt

encore en changeant les dimensions du corps sonore, que l'on acquiert une suite de tons plus graves ou plus aigus les uns que les autres. Une flûte ou un flageolet contient une colonne d'air, qui est, à proprement parler, la partie sonore de cet instrument, comme je l'ai déjà dit ci-dessus. Mais cette colonne d'air change en quelque façon de longueur, selon le nombre des trous que l'on débouche ou que l'on tient fermés : puisque chacun de ces trous faisant communiquer l'air extérieur avec celui du tuyau, empêche que ce dernier ne reçoive dans toute son étendue, ou d'une maniere complette, les vibrations qui viennent de l'embouchure. *

XI. LEÇON.

* *Voyez l'explicat. de M. Euler, Tent. novum theor. musicæ.*

L'organe de la voix pourroit être comparé aux instrumens à vent, pourvu néanmoins qu'on n'y cherchât point une similitude fort exacte ; car nous ne voyons pas que l'art en ait encore produit aucun qui imite d'assez près la nature. La *trachée-artere* *G g*, *H h*, *Fig.* 23. ce canal par où l'air qu'on respire entre dans les poulmons, est terminé vers la bouche par une petite fente ovale *k*, qu'on

nomme *la Glotte*. La reſſemblance qu'elle a avec une flûte, avoit fait croire anciennement que la voix ſe formoit dans cette partie comme le ſon dans ces ſortes d'inſtrumens. Mais M. Dodard conſidérant que le ſon d'une flûte eſt excité par l'air qui entre dans le tuyau, au lieu que la voix l'eſt communément par celui qui ſort de la trachée, ſe détermina à croire, avec toute ſorte de vraiſemblance, que la glotte eſt l'organe principal, & que le canal qu'elle termine ne fait que l'office de porte-vent.

XI. LEÇON.

Selon le ſyſtême de cet habile Phyſicien *, l'air ſortant avec plus ou moins de viteſſe par la glotte, qui a pour cet effet la faculté de ſe dilater & de ſe rétrécir, forme des ſons plus ou moins graves. Le ſon formé de cette maniere va retentir dans la cavité de la bouche, & dans celle des narines; & en ſortant il s'articule par le mouvement de la langue & des levres. Ainſi la trachée fournit l'air, la glotte forme la voix, & en regle le ton, la langue & les levres en font des paroles.

* *Mém. de l'Acad. des Sc.* 1700 *p.* 244.

Voilà, dit-on, comme les choſes

ſe paſſent pour l'ordinaire, mais on peut cependant parler & chanter en aſpirant, & il y des gens qui, par habitude, ou par une certaine diſpoſition d'organes, font entendre une voix ſourde & étouffée qui ſe forme par l'air qui entre dans la trachée : on les appelle *Ventriloques*, c'eſt-à-dire, qui parlent du ventre. On les regardoit autrefois comme Magiciens & comme poſſédés du démon ; il ſe trouve même de bons Auteurs * à qui il paroît que cette façon de parler en a impoſé auſſi bien qu'au peuple.

XI. LEÇON.

* *Liranus, in c 28 Deut. Caſſerius, de vocis organo.*

Si l'on doit attribuer les différens tons de la voix ou du chant aux différentes ouvertures de la glotte, il faut que ſon petit diametre, qui n'a au plus qu'une ligne, puiſſe changer 9632 fois de longueur, ſelon le calcul de M. Dodard, pour fournir à toutes les différentes nuances de tons dont la voix humaine eſt ſuſceptible. Une telle diviſion peut-elle avoir lieu dans une ſi petite étendue ? c'eſt ce qu'on a peine à concevoir. La glotte feroit-elle donc l'office d'une anche de haut-bois ou de muſette, qui, comme l'on ſait, n'eſt chargée que

XI. LEÇON.

de produire le ſon, & non pas les tons ; & le canal de la bouche qui s'allonge, ſe rétrécit, & ſe dilate ſuivant la qualité des tons, feroit-il celui d'un chalumeau qui contient plus ou moins d'air, & qui devient capable par-là d'un ſon plus ou moins grave ? ou bien ces deux parties concourroient-elles enſemble à la formation des tons, l'une comme une anche qui deviendroit plus ou moins grande, plus ou moins élaſtique, l'autre comme un tuyau qui changeroit de dimenſion ?

M. Ferrein, Médecin, a répandu un grand jour ſur cette queſtion, en prouvant, par des expériences auſſi déciſives qu'elles ſont ingénieuſes & délicates, que les deux levres de la glotte ne battent point l'une contre l'autre à la maniere d'une anche ; mais que chacune d'elles frottée par l'air qui vient des poulmons, réſonne comme une corde ſur laquelle on traîne un archet. Ses obſervations lui ont fait connoître, que les bords de ces deux levres ſont des cordons tendineux attachés de part & d'autre à des cartilages qui ſervent à les tendre plus

Fig. 19.

Fig. 17.

plus ou moins : il trouve dans ces différens degrés de tenſion dont ces parties ſont ſuſceptibles, une explication naturelle de tous les tons dont la voix humaine eſt capable; car on ſait en général, qu'une corde plus ou moins tendue rend un ſon plus ou moins aigu.

Mais comment M. Ferrein a-t-il pu ſavoir que les deux levres de la glotte ne battent point l'une contre l'autre; que le ſeul rétréciſſement de cette partie ne ſuffit pas pour faire monter la voix des tons graves aux tons aigus; & que l'air lancé des poulmons par la trachée artere donne un mouvement de vibrations à ces cordons tendineux, qu'il a nommés pour cela *Cordes vocales?* Ne faudroit-il pas avoir vu l'action même de ces parties pour juger de la maniere dont elle ſe fait? Et comment porter la vue ſur un méchaniſme que la nature n'a point mis à la portée de nos yeux?

L'ingénieux Auteur de ces découvertes, ne pouvant point tenter ces expériences ſur des ſujets vivans, imagina de rendre la voix aux morts. Il adapta un ſoufflet à des trachées

XI. LEÇON.

toutes fraîches ; l'air qu'il fit passer avec précipitation par la glotte rendit des sons, & ses conjectures devinrent des connoissances. *Voyez les Mém. de l'Académ. des Sc. année* 1741, *p.* 409.

Quand une fois la voix est formée, & que son ton est réglé, il faut, pour être agréable, qu'elle sorte & par la bouche & par le nez; elle est tout-à fait différente de ce qu'elle a coutume d'être, lorsqu'elle ne résonne que dans l'une de ces deux cavités; on n'aime point à entendre quelqu'un qui parle ou qui chante ayant les narines bouchées : on dit communément qu'il parle du nez; expression tout-à-fait impropre, comme on voit, puisque c'est justement quand on n'en parle point, qu'on s'attire ce reproche.

On conçoit, sans aucune difficulté, comment deux corps sonores exécutent séparément leurs vibrations, comment l'un des deux, par exemple, en achève 4 pendant que l'autre n'en fait que deux ou trois, parce que la fréquence de ces vibrations dépend d'un certain degré de ressort que chacun possede séparément. Mais com-

ment eſt-ce que deux tons différens ſubſiſtent en même temps dans le même air, ſi les tons ne ſont dans l'air, que ce qu'ils ſont dans le corps ſonore, une fréquence déterminée de vibrations ? Comment la même maſſe d'air peut-elle rendre diſtinctement & en même temps les ſons de deux cordes qui ſont à l'octave l'une de l'autre, ſi celle-ci exige 100 vibrations, & celle-là 200 par ſeconde ?

XI. LEÇON.

Ce n'eſt encore là que la moitié de la difficulté ; car quand bien même ces deux mouvemens pourroient ſe communiquer & ſe conſerver ſans confuſion dans le même air, il reſte encore à ſavoir par quel moyen l'organe qui reçoit en même temps les deux impreſſions, n'éprouve point une ſenſation mixte ou compoſée de l'une & de l'autre, comme l'œil voit du verd, quand il eſt frappé en même temps par deux rayons, dont l'un eſt jaune & l'autre bleu.

On ne s'eſt jamais trop mis en peine de répondre à la derniere de ces deux queſtions : quant à la premiere, on a prétendu le faire, en comparant le mouvement de l'air qui tranſmet

XI. LEÇON.

les ſons aux ondulations circulaires qu'on fait naître dans une eau tranquille, lorſqu'on y jette des pierres. Car de même, dit-on que ces ondulations s'entre-coupent ſans ſe confondre, & s'étendent ſéparément juſqu'au bord du baſſin, de la même maniere auſſi l'air ſe charge de différents tons enſemble, & les tranſmet ſans confuſion juſqu'à l'oreille.

Mais, outre que ce n'eſt point expliquer un phénomene que de le comparer à un autre; cette comparaiſon même eſt défectueuſe, & l'on voit évanouir preſque toute ſimilitude, quand on fait attention à la nature des mouvements de part & d'autre.

Lorſqu'une pierre tombe dans l'eau, elle abaiſſe la partie du fluide qui ſe trouve ſous elle, & en même-temps elle éleve les parties voiſines; chacune de ces parties ſoulevées retombe avec accélération plus bas que ſon niveau, & fait monter celle qui eſt immédiatement après, ce qui continue juſqu'à ce que tout ait repris ſon équilibre. Ces balancements ſe faiſant dans une infinité de rayons qui partent d'un centre commun, repréſen-

tent à l'œil ces ondulations circulaires dont il s'agit, qui se ralentissent à mesure qu'elles s'étendent, & qui deviennent d'autant plus lentes qu'elles sont plus foibles, soit par la cause qui les a fait naître, soit par le trajet qu'elles ont déja fait. Mais le mouvement du son dans l'air est toute autre chose ; ce sont les vibrations d'un fluide élastique qui se transmettent avec une vîtesse uniforme, & qui ne deviennent ni plus promptes ni plus lentes, quand leur grandeur vient à varier.

D'ailleurs quand les ondulations de l'eau s'entre-coupent, on ne peut nier qu'à l'endroit du choc, le mouvement ne se compose des masses & des vîtesses des parties qui se rencontrent, & qu'un corps placé à cette intersection ne dût recevoir le mouvement composé. Il n'en est pas de même de deux sons qui agissent sur le même organe ; chacun fait son impression comme s'il étoit seul, & l'oreille les distingue par deux sensations différentes, quoique simultanées. Ainsi la comparaison des ondes n'explique rien, & laisse subsister

en leur entier, les deux difficultés que j'ai exposées.

XI. LEÇON. M. de Mairan, après avoir donné des preuves évidentes de cette disparité, propose sur la propagation des sons un système si simple, mais en même-temps si heureusement imaginé, qu'on oublie bien-tôt que c'est une hypothèse, quand on l'applique aux phénomenes; il a cela de commun avec celui des couleurs, comme son auteur ressemble à Newton par bien des endroits.

S'il étoit question de décider, si les molécules qui composent la masse de l'air sont toutes égales entr'elles, ou s'il y en a de plus petites les unes que les autres à toutes sortes de degrés, & qu'il fallût adopter l'une de ces deux suppositions, quel parti faudroit-il prendre? Lequel des deux paroîtroit le plus vraisemblale? Comme ces molécules sont des assemblages fortuits des parties plus subtiles, qui se joignent & se désunissent par mille causes différentes, ne seroit-on pas porté à croire qu'elles diffèrent de grandeur à l'infini, plutôt que de supposer gratuitement, qu'elles se

ressemblent toutes parfaitement?

XI. LEÇON.

Cette pensée sur laquelle est fondé tout le système de M. de Mairan, est la seule qui ne soit que vraisemblable ; toutes les autres sont des conséquences si nécessaires de ce principe, (si une fois on l'admet,) qu'on ne peut point s'y refuser.

Si les molécules de l'air sont de différentes grandeurs, elles doivent différer aussi par leurs degrés de ressort, comme une même lame d'acier feroit des ressorts plus roides les uns que les autres, si elle étoit divisée en portions inégales. Par-tout où l'on place un corps sonore, il doit donc trouver dans la masse commune, des particules d'air dont le ressort est analogue au sien, & capables par conséquent de recevoir, de conserver, & de transmettre ses vibrations. Ainsi deux cordes de différents tons se font entendre par la même masse d'air, mais par différentes parties de cette masse. Suivant cette explication, on conçoit facilement comment les tons ne se confondent point dans le fluide qui les transmet ; car de cette maniere, ce fluide, eu égard à ses différentes parties, peut

se prêter à des vibrations plus fréquentes les unes que les autres.

XI. LEÇON. Quant à l'impression des sons sur l'organe, il faut se souvenir que la lame spirale, qu'on doit regarder comme la partie principale, est un assemblage de fibres qui vont toujours en diminuant de longueur, depuis la base jusqu'à la pointe du limaçon, à-peu-près comme les cordes d'un psaltérion ou d'un clavecin; chacune a une élasticité proportionnelle à sa longueur, ce qui la rend propre à être ébranlée par des vibrations d'une certaine fréquence seulement. Ainsi, quand deux tons parviennent à l'organe en même-temps, chacun d'eux fait son impression sur la fibre dont le ressort est analogue à la fréquence de ses vibrations; & ces deux sensations séparées font naître deux idées distinctes: en un mot, il arrive aux fibres de la lame spirale ce qu'on remarque aux cordes d'un clavecin, ou à tout autre corps sonore dont on prend le ton; si l'on touche une corde, on fait résonner celle qui est à l'unisson, non-seulement sur le même instrument, mais même sur un autre qui

feroit placé à côté ; ſi l'on parle à voix haute dans un magaſin de verreries, dans une boutique de Chaudronnier, dans une office où il y a beaucoup de vaiſſelle creuſe, on entend toujours réſonner quelque piece, tandis que les autres reſtent en ſilence ; & ſi l'on change de ton, c'eſt une autre piece qui répond.

XI. LEÇON.

Mais, dira-t on, comment ſe peut-il faire qu'une corde que l'on met en jeu, choiſiſſe préciſément les molécules d'air qui lui conviennent : & que l'air intérieur de l'oreille, qui reçoit ſon mouvement à travers la membrane du tambour, attaque avec un pareil choix les fibres qui ne ſont propres à ſentir qu'un certain ſon?

Cette corde ne choiſit point en effet, & l'air de l'oreille frappe indifféremment toute la lame ſpirale ; mais les effets ſont les mêmes que s'il y avoit du choix : car quoique pluſieurs corps qui ont différents degrés de reſſort, commencent leurs vibrations en même-temps, ſi la cauſe qui les entretient eſt fixée à un certain degré de fréquence, ces vibrations ne peuvent continuer que dans ceux dont

XI. LEÇON.

le reſſort eſt analogue à cette fréquence; car ceux qui ſeroient de nature à faire, par exemple, une vibration & demie contre une, ne ſe trouveroient point à temps comme les autres, pour recevoir la ſeconde impulſion; & leur mouvement devroit ſe rallentir ou ceſſer. Le corps ſonore agit donc d'abord ſur toutes les molécules d'air qui l'entourent; mais il ne continue efficacement ſon action que ſur celles qui ſont propres à ſe mouvoir préciſément comme lui. C'eſt la même choſe pour les fibres de la lame ſpirale: & comme nos ſenſations ne s'accompliſſent que par un ébranlement d'une certaine durée, la premiere ſecouſſe qui attaque toute la partie indiſtinctement, eſt déja paſſée, lorſque l'ame s'apperçoit de l'impreſſion qui continue, ſur les fibres qui ſont propres à cette eſpece de mouvement.

Il ne faut pas croire cependant, qu'une corde que l'on pince ne mette & n'entretienne abſolument en jeu que les particules d'air qui ont une analogie préciſe avec ſon reſſort, elle agit auſſi ſur celles qui ſont *harmo-*

niques ; c'eſt-à-dire, dont les vibrations recommencent avec les ſiennes après un certain nombre, & elle agit plus fortement ſur celles qui ſont plus harmoniques ou plus prochainement rentrantes. La même corde fait donc réſonner d'abord & beaucoup plus fortement que les autres, les particules d'air qui ſont propres à faire autant de vibrations qu'elle, & c'eſt ce qui fait le ton principal ; enſuite, & avec moins de force, celles qui ne font qu'une vibration contre deux ; après ces dernieres, & encore plus foiblement, celles qui ne font que deux vibrations contre trois, &c. de ſorte qu'on peut dire qu'un ſeul & même corps ſonore fait toujours un petit concert : à la vérité, ces ſons harmoniques ſont couverts par le ſon principal ; mais quand celui-ci vient à s'affoiblir, une oreille un peu délicate n'a pas de peine à les diſtinguer.

XI. LEÇON.

On pourroit demander ici, 1^ment^, pourquoi nous n'entendons qu'une fois le même ſon, quoique nous ayons deux oreilles auſſi ſenſibles l'une que l'autre : 2^ment^, par quelle raiſon, parmi tant de différents tons, il y en

a qui se font mieux entendre que d'autres à certaines gens qui ont l'ouie dure : 3^ment^, comment les bruits ou les sons d'une certaine espece, ou d'une certaine force, nous remuent les entrailles, nous font du plaisir ou de la peine.

XI. LEÇON.

L'unité de sensation, quoique produite par deux impressions distinctes, vient sans doute de ce que le son attaque des parties parfaitement pareilles, & qui ont un point de réunion commun dans le cerveau ; & il est à présumer qu'on n'entendroit point de l'une des deux oreilles le son qui frapperoit d'un côté la 4e. fibre de la lame spirale, par exemple, & de l'autre la 6e. de la membrane du même nom. Ce n'est point le seul exemple qu'il y ait dans la nature, de deux organes semblables qui ne représentent qu'une fois leur objet, quoiqu'ils agissent également. Ordinairement nous ne voyons point double, quoiqu'il soit constant que l'image se peint également dans les deux yeux, & c'est par un raison assez semblable à celle que je viens d'exposer, & que je détaillerai en parlant de la vision.

L'efficacité de certains sons préfé-

rablement à d'autres qui ſont même quelquefois plus forts, pourroit être attribuée à quelque vice de la lame ſpirale qui ne l'occuperoit pas toute entiere. Si, par exemple, les deux extrémités de cette partie étoient devenues moins ſenſibles que le milieu, par quelque accident que ce pût être, la perſonne qui auroit cette maladie n'entendroit facilement que les tons mitoyens entre les plus graves & les plus aigus; & dans la quantité de monde qu'elle verroit, il ſe trouveroit infailliblement quelqu'un dont le ton de la voix ſe porteroit à cette partie ſaine, & qui ſe feroit entendre ſans parler plus haut que de coutume. XI. LEÇON.

Enfin les mouvements que nous reſſentons au-dedans de nous-mêmes, lorſque nous entendons des ſons ou des bruits d'une certaine eſpece, s'expliquent encore avec facilité, (ſi l'on ne cherche que la cauſe générale,) par différentes impreſſions qui ſe font ſur le genre nerveux, qui s'étend à toutes les parties de notre corps. Car les nerfs ſont comme des cordes élaſtiques différemment tendues, plus groſſes & plus longues les unes que

XI. LEÇON.

les autres. Or parmi toutes ces especes de trémouſſements que les corps ſonores peuvent imprimer à l'air qui nous touche de toutes parts, il eſt preſqu'impoſſible qu'il n'y en ait quelqu'une dont les fibres nerveuſes de certaines parties ne ſoient ſuſceptibles. Lorſque l'impreſſion eſt douce & modérée, nous la reſſentons avec plaiſir; mais quand elle eſt trop forte, qu'elle tend à détruire ou à déranger l'économie des parties, l'ame qui veille à la conſervation du corps qu'elle anime, la déſapprouve, s'inquiete; & c'eſt ce qu'on nomme *déplaiſir* ou *douleur*.

Voilà en gros comment les ſons, ſelon leur eſpece, excitent nos paſſions: certains airs inſpirent la molleſſe & l'amour de la volupté; d'autres la hardieſſe & le courage; ceux-ci la triſteſſe, ceux-là la gaieté, &c. mais s'il falloit déſigner les cauſes prochaines, & dire déterminément pourquoi telle muſique affecte de telle maniere, l'entrepriſe, je crois, ſeroit téméraire; il faudroit connoître plus à fond ce que nous ſommes, & la liaiſon qu'il y a entre nos différentes facultés.

L'hiſtoire de la Tarentule, ſi elle eſt vraie, (a) eſt un exemple fort ſingulier des effets de la muſique ſur le corps humain : la piquûre de cet inſecte, qui eſt une groſſe eſpece d'araignée aſſez commune en Italie, envenime, dit-on, le ſang, & cauſe des accidents très-fâcheux, qui vont quelquefois juſqu'à la mort. Quand on s'apperçoit que quelqu'un a cette maladie, on eſſaye en ſa préſence différents airs, différents inſtruments, juſqu'à ce qu'on ait trouvé celui qui convient pour la guériſon ; on s'en apperçoit à certains geſtes & à certains mouvements cadenſés par leſquels le malade s'agite : on dit alors qu'il danſe, peut-être auſſi improprement que les Anciens diſoient qu'on meurt en riant quand on a mangé de la ciguë, à cauſe de quelques grimaces qu'ils voyoient faire en expirant, à ces ſortes d'empoiſonnés. Quoi qu'il en ſoit, ces agitations & ces ſauts excitent ordinaire-

XI. LEÇON.

(a) Depuis la premiere édition de ce volume j'ai eu occaſion de voir M. Serrao, ſavant Médecin de Naples, qui m'a inſpiré beaucoup de défiance ſur tout ce que l'on raconte de la Tarentule. Voy. ſon Ouvrage *della Tarantola.*

XI. LEÇON.

rement une transpiration salutaire ; qu'on a soin de réitérer de temps en temps par le même moyen, jusqu'à ce que les symptômes cessant, annoncent que tout le venin est dissipé.

Ce n'est pas seulement dans cette maladie que la musique peut avoir de bons effets ; on a vu des gens attaqués de fievres chaudes, être touchés d'un air de violon, se lever, sauter, suer de fatigue, & être guéris *.

* *Hist. de l'Acad. des Sc* 1703. *page* 22.

Enfin on attribue aussi au bruit du tonnerre nombre d'effets merveilleux, & dont plusieurs semblent avoir de la réalité ; mais est-ce le trémoussement seul que ce météore excite dans l'air qui en est la cause ? ou bien doit-on s'en prendre aux exhalaisons qui regnent très-communément dans les temps dorage ? c'est ce qu'il n'est pas facile de décider.

Des Vents.

Le vent n'est autre chose qu'un air agité, une portion de l'atmosphere qui se meut comme un courant avec une certaine viteſſe & avec une direction déterminée.

Ce météore, eu égard à sa direction, prend différents noms selon les différens points de l'horizon d'où il vient. On appelle vent de Nord, de Sud, d'Est ou d'Ouest, celui qui souffle de l'un de ces quatre points cardinaux ; vent de Nord-Est, de Sud-Ouest, &c. celui qui tient le milieu entre le Nord & l'Est, entre le Sud & l'Ouest, &c. vent de Nord-Nord-Est, de Sud-Sud-Ouest, &c. celui qui tient une fois plus du Nord que de l'Est, une fois plus du Sud que de l'Ouest, &c. Communément cette division de vents va jusqu'à trente-deux. *Voyez la Fig.* 24. elle pourroit aller plus loin, s'il étoit possible d'observer toutes leurs variations.

XI. LEÇON.

On peut distinguer principalement trois sortes de vents : les uns qu'on appelle *généraux* ou *constants*, parce qu'ils soufflent sans cesse dans une certaine partie de l'atmosphere ; tels sont ceux qu'on nomme *alisés*, & qui régnent continuellement entre les deux tropiques, & à quelque distance aux environs : les autres, qui sont *périodiques*, qui commencent & finissent toujours dans certains temps de l'année,

XI. LEÇON.

ou à certaines heures du jour, comme les *mouſſons* qui ſont Sud-Eſt, depuis Octobre juſqu'en Mai, & Nord-Oueſt depuis Mai juſqu'en Octobre entre la côte de Zanguebar & l'Iſle de Madagaſcar; ou bien le *vent de terre* & le *vent de mer* qui s'élevent toujours, celui-ci le matin & l'autre le ſoir. D'autres enfin qui ſont *variables*, tant pour leur direction, que pour leur viteſſe & pour leur durée.

L'hiſtoire des vents eſt aſſez paſſablement connue, par les obſervations de pluſieurs Phyſiciens qui ont voyagé, ou qui ſe ſont appliqués dans leur pays pendant nombre d'années à la connoiſſance de ce météore. M. Muſchenbroek en a fait une diſſertation fort curieuſe *, où il a fait entrer non-ſeulement ce qu'il a obſervé lui-même, mais encore tout ce qu'il a pu recueillir des écrits de MM. Halley, Derham, &c. ſon ouvrage ſe trouve par-tout, j'y renvoye le lecteur. Mais il s'en faut bien que nous ſoyons autant inſtruits touchant les cauſes; j'entends les plus éloignées, celles qui occaſionnent les premiers mouvements dans l'atmoſphere: car on ſait

* *Eſſais de Phyſ. tom 2. p. 878*

Voyage de Dampier, t. 2.

en général que les vents viennent immédiatement d'un défaut d'équilibre dans l'air ; parce que toutes les fois que certaines portions de l'atmoſphere deviennent plus chargées, plus denſes, plus élévées ou plus preſſées que les autres, étant alors plus peſantes, elles doivent s'échapper, s'écouler, par où il y a moins de réſiſtance, & pouſſer devant elles les autres parties qui ſont plus foibles, à-peu-près comme l'eau d'un canal, ſoulevée dans un endroit par une pierre qu'on y jette, ſe meut par ondes d'un bout à l'autre ; mais qui eſt-ce qui a jetté la pierre, quand nous voyons l'atmoſphere s'agiter ? Voilà ce qu'on ne ſait que fort imparfaitement.* XI. LEÇON.

* *Voyez les Œuvres de Mariotte, p.* 340.

Les Phyſiciens qui ont raiſonné ſur cette matiere, conviennent tous que les vents peuvent être occaſionnés par pluſieurs cauſes différentes : le froid & le chaud qui ne regnent que dans une portion de l'atmoſphere y changent la denſité de l'air, & par conſéquent ſon volume, ſoit en plus, ſoit en moins ; & alors les parties voiſines ſont pouſſées plus loin, ou bien elles ſe rapprochent davan-

XI. LEÇON.

tage. Si la cauſe qui raréfie l'air eſt réglée & continuelle, on conçoit bien que cette régularité influe ſur le vent qu'elle produit; ainſi c'eſt avec vraiſemblance qu'on attribue les vents qui régnent de l'Eſt à l'Oueſt dans la Zone torride, au mouvement journalier de la terre : car cette portion de l'atmoſphere qui eſt renfermée entre les deux tropiques, préſentant ſucceſſivement toutes ſes parties au ſoleil, ſouffre par la chaleur de cet aſtre des raréfactions qui changent continuellement, & avec régularité, l'équilibre de l'air; & comme le mouvement apparent du ſoleil s'étend en ſix mois de l'un à l'autre tropique, ces vents généraux doivent ſouffrir quelques variations périodiques, & relatives aux différents aſpects du ſoleil, comme on l'obſerve effectivement. Des exhalaiſons qui s'amaſſent & qui fermentent enſemble dans la moyenne région de l'air, peuvent encore occaſionner des mouvements dans l'atmoſphere; c'eſt la penſée de M. Homberg & de quelques autres ſavants : & ſi les vents peuvent naître

de cette cauſe, comme il eſt probable, on ne doit point être ſurpris qu'ils ſoufflent par ſecouſſes & par bouffées, puiſque les fermentations auxquelles on les attribue, ne peuvent être que des exploſions ſubites & intermittentes. XI. LEÇON.

Ces fermentations arrivent très-fréquemment dans les grottes ſouterreines, par le mélange des matieres graſſes, ſulfureuſes & ſalines qui s'y trouvent; auſſi pluſieurs Auteurs ont-ils attribué les vents accidentels à ces ſortes d'éruptions vaporeuſes. Connor rapporte * qu'étant allé viſiter les mines de ſel de Cracovie, il avoit appris des ouvriers & du maître même, que des recoins & des ſinuoſités de la miniere, il s'éleve quelquefois une ſi grande tempête, qu'elle renverſe ceux qui travaillent, & emporte leurs cabannes; Gilbert, Gaſſendi, Scheucher, &c. font mention d'une grande quantité de cavernes de cette eſpece, d'où il ſort quelquefois, des vents impétueux, qui prenant leur naiſſance ſous terre, ſe répandent & continuent quelque temps dans l'atmoſphere.

* *Diſſert. Medico-phyſ. Art. III. p.* 33.

XI. LEÇON.

On cite encore l'abaiſſement des nuages, leurs jonctions, & les groſſes pluies, comme autant de cauſes qui font naître, ou qui augmentent le vent ; & en effet une nuée eſt ſouvent prête à fondre par un temps calme, lorſqu'il s'éleve tout-à-coup un vent très-impétueux ; la nuée preſſe l'air entr'elle & la terre, & l'oblige à s'écouler promptement.

Enfin, s'il eſt permis de hazarder des conjectures aprés ces probabilités, ne pourroit-on pas encore attribuer l'origine du vent à la grande quantité d'air qui ſe dégage des mixtes, en certains lieux & en certaines ſaiſons ? car nous avons fait voir à la fin de la Leçon précédente, que cet air, lorſqu'il eſt dégagé, tient beaucoup plus de place dans l'atmoſphere, qu'il n'en occupoit dans les matieres dont il faiſoit partie. Or en automne, par exemple, s'il fait un temps humide & chaud qui procure une prompte & abondante putréfaction des plantes & des feuilles qui ſont tombées des arbres, l'atmoſphere doit s'enfler au-deſſus des endroits où ces effets arrivent ; elle doit re-

fluer sur les parties voisines ; celles-ci sur d'autres, & peut-être assez sensiblement, pour faire ce qu'on nomme du vent. XI. LEÇON.

On pourroit pousser cette idée plus loin, en la prenant par le côté opposé ; s'il étoit vrai que la décomposition des mixtes pût rendre assez promptement une quantité d'air capable d'interrompre l'équilibre de l'atmosphere, on pourroit penser aussi qu'au printemps & dans les endroits où la nature travaille le plus à toutes ses productions, il doit s'absorber beaucoup d'air, & qu'il peut se trouver telles circonstances, où l'équilibre de l'atmosphere en pourroit être altéré. Mais ne nous livrons point avec trop de confiance à une imagination qui n'est rien moins que fondée en preuves solides.

Plusieurs Physiciens ont essayé de mesurer la vîtesse des vents, en lui donnant à emporter des petites plumes & d'autres corps legers ; & en examinant combien il leur faisoit faire de chemin dans un temps déterminé. Mais quoique ces sortes d'expériences paroissent très-simples & d'une

XI. LEÇON.

extrême facilité, ceux qui les ont faites, ſont ſi peu d'accord entr'eux ſur les réſultats, qu'on n'en peut rien conclure de certain. M. Mariotte conclut la viteſſe du vent le plus impétueux de 32 pieds par ſeconde, & M. Derham la trouve de 66 pieds d'Angleterre en pareil temps, c'eſt-à-dire environ une fois plus grande; d'où peut venir cette différence? c'eſt que ces deux Savants n'avoient point de regle pour juger préciſément, quel eſt le vent le plus impétueux; & apparemment le premier a pris pour le plus fort de tous, un vent qui pouvoit l'être une fois plus.

Les girouettes ordinaires, comme on ſait, enſeignent la direction du vent: mais elles ne l'enſeignent qu'à ceux qui peuvent porter la vûe au haut des édifices où elles ſont placées, & qui ſe ſont orientés, c'eſt-à-dire, qui connoiſſent les points principaux de l'horiſon du lieu. Pour rendre l'uſage de cet inſtrument plus commode, au lieu de faire tourner la girouette ſur ſa tige, on l'y attache de maniere qu'elle la faſſe tourner avec elle; & à l'autre bout de cette tige,

qui

qui répond, si l'on veut, dans un appartement, on pratique un pignon qui mene une roue dentée, & cette roue une aiguille qui marque les vents sur un cadran. *Voyez les Récréations Mathématiques d'Ozanam. Tom. 2. pag. 45. Edit. 1694.* XI. LEÇON.

La force du vent, comme celle des autres corps, dépend de sa vîtesse & de sa masse, c'est-à-dire, de la quantité d'air qui se meut; ainsi le même vent fait d'autant plus d'effort que l'obstacle sur lequel il agit, lui présente directement plus de surface; c'est pour cette raison qu'on déploie plus ou moins les voiles d'un vaisseau, qu'on habille plus ou moins les aîles d'un moulin à vent, & que les arbres sont moins sujets l'hiver que l'été, à être rompus par la violence des vents, parce que dans la premiere de ces deux saisons, n'étant point garnis de feuilles, ils leur donnent moins de prise.

On peut connoître la force relative des vents par le moyen d'un petit moulin, dont l'arbre est garni d'une fusée conique, sur laquelle on enveloppe une corde qui tient un poids

XI. LEÇON.

ſuſpendu; car en expoſant cette machine à l'air libre, & dans une direction convenable, le petit moulin tourne d'abord, & s'arrête enſuite, quand le poids qui tire ſur la fuſée, lui fait équilibre; or comme les rayons de cette fuſée ſont connus, ou faciles à connoître, on peut aiſément comparer les forces qui ont fait équilibre aux vents en différents temps.

Parmi toutes les machines propres à meſurer les vents, & que l'on nomme pour cette raiſon *Anémometres*, je n'ai rien vu de plus ingénieux & de plus complet que celle de M. le Comte d'Ons-en-Bray, qui eſt décrite fort au long dans les Mémoires de l'Académie des Sciences, pour l'année 1734. Non-ſeulement elle marque la viteſſe & la direction du vent; mais elle en tient compte pour l'obſervateur abſent, & l'on voit après 24 heures, quels vents ont régné, & quelles ont été pendant cet eſpace de temps la durée & la viteſſe de chacun.

La nature qui ne fait rien d'inutile, fait mettre les vents à profit: ce ſont eux qui tranſportent les nuages pour arroſer & fertiliſer les différentes par-

ties de la terre ; ce ſont eux qui les diſſipent pour faire ſuccéder le calme à l'orage ; c'eſt par ces mouvements & par ces agitations que l'air ſe renouvelle & ſe purifie, & que le chaud & le froid ſe tranſmettent d'un pays à l'autre. Il arrive auſſi quelquefois que l'on perd au change : car ſi le vent vient d'un lieu mal ſain, il en apporte les mauvaiſes qualités, & ſert de véhicule à la contagion ; mais ce ſont des cas particuliers & aſſez rares qui ne l'emportent point ſur une infinité d'autres avantages que nous tirons du vent. XI. LEÇON.

On eſt ſurpris de voir naître certaines plantes au ſommet d'une tour, ſur le tronc d'un arbre, &c. où l'on n'a pas lieu de croire que perſonne ait pris la peine de les ſemer ; c'eſt l'ouvrage du vent qui éleve la terre en pouſſiere, & enſuite les ſemences, que l'eau du ciel fait germer. C'eſt par la même cauſe que le gramen & toutes les herbes des champs ſe multiplient & croiſſent dans une quantité d'endroits, où l'on voudroit ſouvent qu'elles ne vinſſent point.

L'art, imitant la nature, a trouvé

XI. LEÇON.

dans les vents de puiſſants moteurs qui nous procurent de grandes commodités, & qui étendent prodigieuſement notre commerce : combien la navigation ne ſeroit-elle pas bornée, ſi les vaiſſeaux n'alloient qu'à force de rames, comme les galeres ? Les voyages de long cours ſeroient impraticables par leur lenteur, & par les frais d'équipages : au lieu qu'à l'aide des vents, & des voiles qui en reçoivent l'impulſion, un petit nombre de matelots au fait de la manœuvre, conduit avec beaucoup de diligence, une petite armée de ſoldats, ou un magaſin énorme de marchandiſes, d'un bord à l'autre de l'Océan.

Quels ſecours ne tirons-nous pas des moulins à vent, pour moudre le grain, extraire l'huile des ſemences, fouler les draps, ſcier les planches, broyer des couleurs, ou autres matieres, &c. ? Combien d'hommes ou de chevaux ne faudroit-il pas employer, pour faire toute la farine que le vent prépare à Montmartre, ou ailleurs aux environs de Paris ? Tous ces travaux s'opèrent à peu de frais, par le moyen de quatre aîles qui font l'office de leviers,

& qui préſentent leur plan d'une maniere oblique à la direction du vent : la puiſſance qui agit continuellement ſur ces quatre plans inclinés, les oblige de reculer ſans ceſſe ; ce qu'ils ne peuvent faire qu'en tournant, & en faiſant tourner l'arbre auquel ils ſont fixés.

XI. LEÇON.

C'eſt par une méchanique aſſez ſemblable que les enfants trouvent le moyen d'enlever ces eſpeces de chaſſis couverts de papier, qu'ils appellent *cerf-volants* ; car la corde avec laquelle ils les retiennent, eſt toujours attachée de façon que ce plan ſe préſente obliquement à la direction du vent, & alors l'impulſion de l'air tend toujours à le faire monter, en décrivant l'arc d'un cercle qui a pour rayon la ficelle que tient en ſa main celui qui gouverne le cerf-volant. Mais comme il faut que l'axe *A B* ſoit toujours incliné au vent *CD*, d'une certaine quantité, au-deſſous & au-delà de laquelle l'impulſion n'auroit plus l'effet qu'on en attend, on a ſoin de faire filer la corde ; & par ce moyen le cerf-volant ſe trouvant à l'extrémité d'un arc ſemblable, mais d'un plus grand cer-

XI. LEÇON.

cle, ſon axe *a b* eſt toujours également incliné au vent *c d*; & le degré d'élévation eſt plus grand. *Voy.* la *Fig.* 25.

Le ſecours du vent eſt ſi commode, & ſes avantages ſont ſi bien connus de tout le monde, que quand il n'en fait pas, ou que nous ne ſommes pas à portée d'en profiter, nous prenons la peine de nous en procurer artificiellement: on agite l'air avec un éventail, ou autrement, pour ſe donner du frais; le forgeron ſe ſert d'un ſoufflet pour animer ſon feu; & le boulanger nettoye ſon bled, en le faiſant paſſer devant une eſpece de roue garnie de quatre volants qu'il fait tourner pour jetter l'air deſſus, & emporter la pouſſiere: ce crible qui vient originairement d'Allemagne, a été perfectionné & connu à Paris & aux environs, par les ſoins de M. d'Hécbourg, ancien Officier d'Artillerie; je ſais par moi-même, & par le grand débit que je lui ai vu faire de cette machine, combien elle eſt utile à ceux qui ont beaucoup du grains à nettoyer & à conſerver.

Fin du troiſieme Volume.

Fig. 25.

TABLE DES MATIERES

Contenues dans le troiſieme Volume.

IX. LEÇON,

Sur la Méchanique.

PRELIMINAIRE dans lequel on établit certaines notions néceſſaires pour l'intelligence des Matieres contenues dans cette Leçon. pag. 1.

PREMIERE SECTION. Du Levier. 16.

I. EXPERIENCE, par laquelle on prouve 1°. qu'un poids agiſſant comme puiſſance ou comme réſiſtance, par un levier du premier genre placé horizontalement, a d'autant plus de force qu'il eſt plus éloigné du point d'appui; 2°. que deux maſſes égales oppoſées l'une à l'autre ſur un ſemblable levier, ne peuvent être en équilibre, que quand elles ſont à égales diſtances du point d'appui; 3°. que deux poids inégaux y exercent l'un contre l'autre des forces égales, quand leurs diſtances au point d'appui commun, ſont réciproquement comme les maſſes. 20.

II. EXP. qui prouve les mêmes propoſitions

avec des leviers du deuxieme & du troiſieme genre. 22
COROLLAIRE dans lequel on juſtifie une propoſition d'Archimedes. 25
APPLICATIONS de ces principes à pluſieurs ſortes de leviers, employés tant par la nature que par l'art, & connus ſous différents noms. 26
III. EXP. pour prouver que l'effort d'une puiſſance eſt le plus grand qu'il puiſſe être, lorſque ſa direction eſt perpendiculaire au bras du levier par lequel elle agit. 35
IV. EXP. qui fait voir que deux puiſſances oppoſées par un même levier gardent entr'elles conſtamment le même rapport, ſi leurs directions, de perpendiculaires qu'elles étoient, deviennent également obliques de part & d'autres aux bras de levier, par leſquels elles agiſſent. 37
V. EXP. par laquelle on voit que l'effet d'une puiſſance diminue d'autant plus que ſa direction devient plus inclinée au bras du levier, & qui apprend quelle eſt la loi de cette diminution. 39
APPLIC. de cette Théorie à l'uſage des manivelles & autres leviers qu'on employe pour mouvoir les machines. 45
VI. EXP. qui prouve 1°. que le point d'appui d'un levier eſt chargé de la ſomme des deux forces abſolues, quand leurs directions ſont paralleles entr'elles; 2°. que la réſiſtance du point d'appui en pareil cas ſe fait dans une direction parallele à celle de la puiſſance & de la réſiſtance. 0
VII. EXPERIENCE, pour prouver que quand les directions des deux ſortes oppoſées ſont inclinées

inclinées l'une à l'autre, le point d'appui ne porte qu'une partie de leur effort : qu'il en porte d'autant moins qu'elles ſont plus inclinées au levier ; & que la réſiſtance rend au point de concours de ces deux directions. 51

VIII. Exp. par laquelle on fait voir de combien eſt chargé le point d'appui, & quelle eſt la direction de ſon effort ou de ſa réſiſtance, lorſque les puiſſances oppoſées ſont en équilibre, en agiſſant par des bras de levier inégaux. 55

IX. Exp. qui confirme cette Théorie. 56

Applic. de ces principes à pluſieurs cas, où l'on fait voir que le point d'appui ſe trouve trop foible, ſoit parce qu'il n'eſt pas proportionné aux puiſſances dont il doit ſupporter les efforts, ſoit parce que ſa réſiſtance ſe fait dans une direction déſavantageuſe. 59

Des machines qui ſont compoſées de leviers, ou qui agiſſent comme leviers. 65

De la Balance commune & de la Romaine. 66

Des Poulies. 79

X. Exp. pour faire voir qu'une poulie peut être employée comme un levier du premier genre, dont les bras ſont égaux, & ſur lequel deux puiſſances égales demeurent toujours en équilibre, quelques directions qu'elles prennent. 80

XI. Exp. par laquelle on démontre que les puiſſances appliquées à une poulie, agiſſent d'autant plus fortement que leur diſtance à l'axe eſt plus grande. 83

XII. Exp. qui prouve que l'axe d'une poulie eſt chargé de la ſomme totale de la puiſſance &

de la réſiſtance, & que l'effort qu'il ſoutient, ſe fait dans une direction parallele aux leurs, ou qui tend à leur point de concours. 84
APPLIC. avantageuſes des poulies dans des cas où des leviers ſimples ſeroient ou inſuffiſants, ou moins commodes. 86
XIII. EXP. pour faire voir que les poulies peuvent être employées auſſi comme leviers du 2e. ou du 3e. genre, & qu'elles en ont toutes les propriétés. 90
APPLIC. aux poulies moufflées, avantage que cette machine procure à la force motrice, & juſqu'à quel point on y peut compter. 94
Des roues dentées & autres. 97
Du Treuil & du Cabeſtan. 104
SECONDE SECTION. Du Plan incliné. 108
I. EXP. par laquelle on prouve que la puiſſance qui agit par un plan incliné, eſt dans la poſition la plus avantageuſe, quand elle agit parallelement au plan. 109
APPLIC. de ce principe à pluſieurs phénomenes familiers. 114
Des Machines qui ſont compoſées de plans inclinés. 119
Du Coin. *ibid.*
II. EXP. qui fait connoître 1°. que le coin peut ſervir à vaincre de grandes réſiſtances; 2°. quel eſt le rapport des puiſſances qui agiſſent l'une contre l'autre par le moyen de cette Machine. 124
APPLIC. de la Théorie du Coin aux inſtruments de différentes eſpeces, qui ſont tranchants, & aux diverſes manieres dont on les fait agir. 127
De la vis & de ſes propriétés. Deſcription & explication de la vis d'Archimedes, & de la vis ſans fin. 130
TROISIEME SECT. Des Cordes. 138

I. Exp. qui fait voir que la réſiſtance cauſée par la roideur des cordes, augmente en raiſon directe des poids ou des forces qui les tiennent tendues. 144
II. Exp. pour prouver que la roideur des cordes augmente comme leur diametre. 146
III. Exp. par laquelle on voit que les cordes deviennent plus roides, à meſure qu'elles enveloppent de plus petits cylindres; mais que cette réſiſtance ne ſuit pas la proportion des diametres de ces cylindres. 148
Applic. de ces principes à l'uſage des cordes dans les Treuils, dans les Cabeſtans, dans les Poulies, dans les Archets des Tourneurs, &c. 149
IV. Exp. qui prouve que le tortillement diminue la force des cordes, au lieu de l'augmenter. 159
Applic. de cette connoiſſance à la fabrique & à l'uſage des cables & autres cordages qui ſervent ſur les vaiſſeaux ou dans les bâtiments. 161
V. Pour faire voir que l'humidité raccourcit & fait détordre un peu les cordes qui ſont faites de fils ou de cordons tortillés enſemble. 164
VI. Exp. qui fait connoître l'effort prodigieux d'un fluide qui s'inſinue par des paſſages étroits, & qui confirme l'explication de l'expérience précédente. 166
Applic. de ces deux dernieres Expériences aux Hygrometres. 167

X. LEÇON

Sur la Nature & les Propriétés de l'Air. 175.

PREMIERE SECT. De l'air conſidéré en lui-même, indépendamment de la grandeur & de la figure de ſa maſſe. 178

I. Exp. par laquelle on prouve que l'air a une peſanteur abſolue ; attentions qu'il faut avoir, & que n'ont point eue la plupart de ceux qui ont fait cette expérience ; réponſe à quelques difficultés qu'on pourroit faire contre cette preuve ; explications de pluſieurs phénomenes tirés de cette premiere expérience. 187

II. Exp. qui prouve que la denſité de l'air augmente comme les poids qui le compriment ; reſtriction qu'il faut mettre à cette loi. 208

III. Exp. qui fait voir que le reſſort de l'air comprimé égale en force la puiſſance qui l'a mis en cet état. 214

IV. Exp. des deux hémiſpheres de Magdebourg. 216

V. Exp. qui démontre que l'adhérence des deux hémiſpheres de l'expérience précédente vient uniquement de la preſſion de l'air extérieur. 218

Applic. des principes établis par les expériences précédentes ; comment ſe fait le vuide par le moyen de la machine pneumatique ; pourquoi le récipient s'attache à la platine ; moyen de connoître les différents degrés de raréfaction de l'air dans le récipient, & de juger du rapport de la capacité de ce vaiſſeau à celle de la pompe ; explications de pluſieurs effets qui dépendent du reſſort de l'air. 222

VI. Exp. Jets d'eau formés par le reſſort de l'air. 231

VI. Exp. de l'Arquebuſe à vent. 234

Applic. du reſſort de l'air comprimé à la fontaine de Heron, & aux pompes qui fourniſſent continuellement de l'eau, quoiqu'elles n'ayent qu'un piſton ; diverſes tentatives ſur la compreſſion de l'air ; nouvelle machine

pour faire des épreuves de ce genrer. 235
VIII. Exp. Pour faire connoître en quelle proportion la chaleur augmente le volume de l'air. 248
Applic. de cette cauſe à divers effets que l'on fait voir qui en dépendent; fontaine artificielle conſtruite ſur ce principe. 252
IX. Exp. qui fait connoître en quelle proportion la chaleur augmente le reſſort de l'air 258
Applic. de ce principe à la conſtruction d'un Thermometre comparable; comparaiſon de l'air d'une chambre échauffée par un poele à celui qui s'échauffe par le feu de l'âtre. 263
X. Exp. des animaux dans le vuide. 266
XI. Exp. des poiſſons dans le vuide. 267
Applic. de la néceſſité de l'air pour conſerver la vie animale; plus preſſante cependant pour certaines eſpeces que pour d'autres : exemples ſinguliers de Perſonnes qui ont vécu un temps conſidérable ſans reſpirer; explication de ce phénomene : l'air n'eſt bon à reſpirer que quand il n'eſt ni trop rare, ni trop condenſé, nouveau & pur; obſervations qui le prouvent. Machines pour renouveller l'air; moyens pour le purifier, &c. 271
XII. Exp. de la flamme dans le vuide. 287
XIII. Exp. pour prouver, que ſans air, le feu le plus actif ne produit point de lumiere. *ibid.*
XIV. Exp. par laquelle on voit que la poudre à canon ne s'embraſe qu'à peine & ſans exploſion dans le vuide. Précautions à prendre en faiſant ces ſortes d'épreuves. 289
Applic. de ce principe à divers effets naturels qui ſe rencontrent journellement. 293
XV. Exp. pour prouver qu'il y a beaucoup d'air dans les corps ſolides. 299

XVI. Exp. par la quelle on voit qu'il y en a auſſi beaucoup dans les liquides. 307
XVII. Exp. pour comparer le volume d'air qui ſort de l'eau, à la quantité de l'eau même d'où on l'a fait ſortir. 310
XVIII. Exp. pour connoître le volume d'air qui ſort d'une certaine quantité de ſucre qui ſe diſſout. 313
XIX. Exp. par laquelle on fait voir que le volume d'air, qu'on tire d'une matiere, égale ſouvent 200 ou 300 fois celui de la matiere d'où il ſort. On eſſaye d'expliquer ce phénomene ſingulier. 314
Applic. de cette cauſe pour rendre raiſon des coliques de vents, des rapports d'eſtomac, &c. 326
XX. Exp. pour connoître en combien de temps l'air rentre dans les liqueurs, d'où on l'a fait ſortir. 332
Applic. de cette connoiſſance à quelques eſſais ſur les moyens d'introduire des odeurs dans les liquides. 335

XI. LEÇON.

Suite des propriétés de l'Air.

SECONDE SECT. De l'air conſidéré comme atmoſphere terreſtre. 337
Article I. De l'atmoſphere conſidéré comme un fluide en repos. 339
I. Exp. par laquelle on voit que le mercure baiſſe dans le barometre à meſure que la hauteur de l'atmoſphere diminue; & dans quelle proportion ſe fait cet abaiſſement du mercure. 342
Applic. de cette expérience pour connoître le poids de l'atmoſphere, ſon étendue, ſa figure,

la hauteur des montagnes ; examen historique & critique de ce qui a été fait à cet égard. 350
II. Exp. pour prouver que l'air de l'atmosphere est chargé de parties aqueuses. 364
III. Exp. par laquelle on apperçoit visiblement les corps étrangers qui flottent dans l'air de l'atmosphere. 366
Applic. aux météores aqueux dont on décrit l'histoire. 369
Art. II. De l'atmosphere considérée comme un fluide en mouvement. 396
Du Son en général. 397
Des Corps sonores. 398
I. Exp. qui fait connoître que le son consiste principalement dans les vibrations du corps sonore. 399
II. Exp. qui prouve la même chose. 400
Applic. de ce principe au choix des matieres dont on fait les corps sonores, à leur préparation, au choc ou au frottement des fluides qui produit des sons ; explications de quelque faits singuliers qui ont rapport à cette théorie. 405
Du milieu qui transmet les sons. 412
III. Exp. Du son éprouvé dans le vuide. 413
IV. Exp. Du son éprouvé dans l'eau. 414
Applic. de ces deux dernieres expériences pour expliquer quelques effets singuliers ; remarque sur la transmission des sons dans l'eau par rapport à l'ouie des poissons ; histoire des expériences qui ont été faites en dernier lieu sur la propagation des sons dans l'atmosphere, avec les principaux résultats. 419
V. Exp. qui fait connoître dans quelle proportion, & selon quelle loi l'intensité du son augmente ou diminue, eu égard à la distance du corps sonore, à la densité ou au ressort